1 - Cimento Portland

Vinicius Gomes de Castro

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

CASTRO, V. G. Cimento Portland. In: *Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro* [online]. Mossoró: EdUFERSA, 2021, pp. 13-21. ISBN: 978-65-87108-26-1.
<https://doi.org/10.7476/9786587108612.0002>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1 | CIMENTO PORTLAND

O cimento é um material inorgânico de baixa granulometria que, quando misturado com água, forma uma pasta. Por sua vez esta endurece em virtude das reações e processos de hidratação e mantém sua resistência e estabilidade.

A origem do cimento se deu no Egito antigo, mas sua forma moderna chamada de cimento Portland foi patenteada em 1824 pelo inglês Joseph Aspdin. O construtor escolheu esse nome porque o material apresentava uma cor e consistência que o fizeram remeter às rochas da ilha britânica Portland. A primeira fábrica no Brasil ocorreu ainda no século XIX na cidade de Sorocaba, SP, sendo o lançamento do primeiro cimento Portland brasileiro em 1897.

O cimento é formado pela reação térmica da mistura de dois componentes básicos: calcário (carbonato de cálcio) e argila (silicatos de alumínio e ferro). É a partir destas matérias-primas que são extraídos os óxidos necessários para sua hidratação. O carbonato de cálcio (CaCO_3) aquecido em alta temperatura forma a cal (CaO) e libera CO_2 para atmosfera. Já da argila são extraídos os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 .

Este material é submetido a fornos rotativos, que podem chegar a temperaturas superiores à 1450oC, em um processo chamado de clinquerização ou sintetização. Nesta etapa ocorre uma série de reações físicas e químicas e, ao esfriar, o material aglomera-se em partículas chamadas de clínquer, que podem variar de 2 a 20 mm de diâmetro (figura 1).

Figura 1 - Grão de um clínquer de cimento Portland
com uma face cortada e polida

Fonte: Stutzman (2004, p. 958).

O clínquer é então moído com a adição de sulfato de cálcio e outras misturas como, por exemplo, material pozolânico e cinzas. A adição destes materiais serve para regular o tempo de prensa, modificar as propriedades finais do produto e torná-lo mais econômico. Contudo, somente o clínquer é responsável por até 50% da mistura que constitui o cimento.

1.1 Composição

A composição do clínquer é resultado da mistura controlada das matérias-primas de tal maneira que gera uma proporção dos componentes químicos similar para os cimentos do tipo Portland (tabela 1).

Tabela 1 - Porcentagem típica dos componentes
químicos do cimento tipo Portland

NOME	FÓRMULAS	PESO (%)
Óxido de cálcio	CaO	61 - 67
Óxido de silício	SiO ₂	17 - 24
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	3 - 8
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	1 - 6
Óxido de magnésio	MgO	0,1 - 4
Óxido de sódio + Óxido de potássio	Na ₂ O + K ₂ O	0,5 - 1,5
Trióxido de enxofre	SO ₃	1 - 3

Fonte: Glasser (1997, p. 152).

A composição do cimento influencia diretamente suas propriedades tanto em estado fresco quanto endurecido. Assim, existem diversos tipos de cimento com diferentes composições e características. Entre os mais comuns, podemos citar:

- a) **Cimento Portland comum** - Pode ser designado como CP I ou CP I-S (sem ou com adição, respectivamente). A norma brasileira exige que a sigla seja acompanhada do número 25, 32 ou 40, que representam a resistência à compressão aos 28 dias de idade, em MPa (NBR 5732, 1991).
- b) **Cimento Portland tipo II** - É um cimento composto e mais resistente ao ataque de sulfatos. O tipo do CP II é determinado pela adição (CP II-E, com escória; CP II-Z, com pozolana; e CP II-F, com filer). E, além de ser indicado para praticamente todas as fases de uma obra, o seu custo e disponibilidade o torna muito popular.
- c) **Cimento Portland de alto forno** - Conhecido como CP III, contém a adição de 35 a 70% de escória, e por isso apresenta maior durabilidade.

- d) **Cimento Portland pozolânico** - O CP IV apresenta de 15 a 50% de material pozolânico em sua composição. Apresenta baixo calor de hidratação, baixa porosidade e gera um produto mais resistente a longo prazo quando comparado com cimentos comuns.
- e) **Cimento Portland de alta resistência inicial** - É o cimento CP V - ARI. Assim como o CP I, não apresenta adições, porém apresenta uma dosagem diferente na produção do clínquer. A vantagem deste produto é a velocidade em que a resistência máxima à compressão é alcançada. O cimento ARI apresenta alta resistência após apenas 7 dias da hidratação.

A composição química do cimento CP II, assim como a abreviatura normalmente utilizada na bibliografia técnico-científica especializada, pode ser observada na tabela 2.

Tabela 2 - Composição química típica do cimento Portland tipo II

NOME	ABREVIATURA	COMPOSIÇÃO	PESO (%)
Silicato tricálcico	C_3S	$3CaO.SiO_2$	42
Silicato bicálcico	C_2S	$2CaO.SiO_2$	32
Aluminato cálcico	C_3A	$3CaO.Al_2O_3$	6
Ferroaluminato	C_4AF	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	12

Fonte: Stokke et al. (2014, p. 228).

O silicato tricálcico (C_3S) possui grande número de polimorfos, porém com pouca variação de sua estrutura cristalina. É um constituinte essencial do clínquer e representa um papel importante na resistência mecânica do cimento (ODLER, 2003). Embora o silicato bicálcico (C_2S) ocorra no cimento Portland em proporções menores do que o C_3S , ele também é considerado um dos componentes principais do clínquer, pois contribui significativamente nas resistências mecânicas do cimento em idades prolongadas (após 28 dias). O polimorfismo do C_2S é importante na composição química do clínquer (GOBBO, 2003).

Normalmente o polimorfo β é encontrado nos clínquers. Contudo, pequenas quantidades de polimorfos α , α'_H e α'_I podem ocorrer em até 5% (STUTZMAN, 2004).

O aluminato cálcico (C_3A) é formado a partir da cristalização do material que se funde durante o processo de clínquerização. Normalmente tem estrutura cúbica ou ortorrômbica, isolados ou combinados (GOBBO, 2003). Pode ser encontrado preenchendo as áreas entre os ferroaluminato (C_4AF) e contém até 7% dos óxidos. É altamente reativo com água (STUTZMAN, 2004).

O ferroaluminato tetracálcico (C_4AF) é considerado de baixa reatividade hidráulica e tem como propriedade principal imprimir resistência à corrosão química do cimento. É o C_4AF o responsável pela coloração tipicamente acinzentada do cimento devido à presença de ferro em sua constituição (GOBBO, 2003).

O C_4AF e o C_3A são muitas vezes denominados como a matriz do cimento, uma vez que ocorrem entre os cristais de silicato e aparentemente são responsáveis por sua adesão (STUTZMAN, 2004). A figura 2 apresenta uma imagem produzida por um microscópio eletrônica de varredura de uma possível configuração de um clínquer de cimento.

Figura 2 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura de um clínquer de cimento

Fonte: Stutzman (2004, p. 959).

1.2 Hidratação do cimento

Em termos estritamente químicos, hidratação é a reação de um componente anídrico com a água que resulta em um novo componente, um hidratado. Quando se fala em cimento, a hidratação é a reação entre um cimento não-hidratado, ou um de seus componentes, com água, associado tanto com a mudança química e físico-mecânica do sistema, e em particular, com a cura e o endurecimento.

Uma hidratação parcial do cimento pode acontecer graças à umidade do ar, mas, para que seja completa, o cimento deve ser misturado com uma quantidade suficiente de água. Esta taxa de mistura água/cimento (a/c) afeta a reologia (propriedade física que influencia o transporte de quantidade de movimento na mistura), o progresso da hidratação e ainda as propriedades do produto final. Uma taxa a/c entre 0,3 e 0,6 apresenta uma pasta consistente e é chamada de pasta fresca de cimento. Esta pasta cura e endurece à medida que ocorre a hidratação e é convertida para uma pasta endurecida de cimento. O termo “cura” significa que houve uma perda repentina de plasticidade da pasta original e sua conversão para material sólido com uma recém adquirida capacidade de se medir resistência. O termo “endurecimento” significa o desenvolvimento de dureza e resistência que segue a cura da pasta (ODLER, 2003).

A hidratação do cimento Portland é um processo complexo que envolve uma série de reações químicas simultâneas e sucessivas. O processo acontece de forma espontânea com o contato do cimento com a água e é associado com a liberação de calor. O progresso da hidratação pode ser influenciado por uma série de fatores como: a composição e granulometria do cimento, a relação a/c, a temperatura de cura e presença de misturas e/ou aditivos pasta (ODLER, 2003). O tempo e a temperatura para a cura do cimento dependem de sua composição, por sua vez, cada fabricante de cimento possui sua

própria fórmula. Contudo, pode-se considerar que uma boa temperatura de cura varia entre 40o a 80oC e é alcançada entre 6 e 8 horas (SIMATUPANG et al., 1991).

Figura 3 - Representação da curva temperatura-tempo de hidratação do cimento

Legenda: Sendo: A, a curva do cimento; B, a temperatura ambiente; T_{max} , a temperatura máxima de hidratação; t_{max} , o tempo necessário para atingir a temperatura máxima.

Fonte: Wei et al. (2000, p. 299).

O gráfico que representa a reação exotérmica da pega da hidratação do cimento (figura 3) pode ser dividido em três partes principais, do início quando os componentes são misturados até se alcançar a temperatura máxima: 1. aumento inicial da temperatura (baixo aumento por um curto período); 2. período de dormência (a temperatura não aumenta, podendo até diminuir um pouco); e 3. rápido aumento de temperatura (WEI; ZHOU; TOMITA, 2000a).

A intensa liberação de calor da primeira fase acontece graças à rápida hidratação do C_3S e C_3A . A hidratação parcial do sulfato de cálcio também pode contribuir para esse pico inicial de temperatura (ODLER, 2003). A hidratação do C_2S e C_3S resulta na formação do gel C-S-H ($Ca_3Si_2O_7 \cdot 3H_2O$) e hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) (EVANS, 2002).

Durante o período de dormência, pouca coisa ocorre, a não ser pela lenta precipitação de gel de C-S-H enquanto há um lento aumento na concentração de Ca^{2+} e OH^- (BACKE; LILE; LYOMOV, 2001).

Após este período de algumas horas (geralmente entre 3 e 12 horas), há o início da fase de cura do cimento, quando pode ser observado um segundo e principal pico exotérmico. Isso acontece devido à hidratação do C_3S e à formação da fase C-S-H (ODLER, 2003). A hidratação do C_3A e C_4AF continua, porém em menor medida. Neste período também pode ser observado o decréscimo da concentração de Ca^{2+} e OH^- devido à formação do trissulfoaluminato de cálcio hidratado, conhecido como etringite (VIEIRA, 2010).

Depois desta fase, a taxa de liberação de calor diminui gradativamente e alcança valores baixos após alguns dias. Com uma quantidade suficiente de água, o processo de hidratação pode continuar até que o cimento original seja totalmente consumido. Porém, para baixas proporções de água-cimento, a reação pode parar graças a falta de quantidade suficiente de água necessária para o processo (ODLER, 2003).

1.3 Efeito do tipo de cimento em compósitos madeira-cimento

O tipo de cimento usado na manufatura de compósitos madeira-cimento pode afetar as propriedades físico-mecânicas finais do produto e, também, sua viabilidade econômica de produção, uma vez que geralmente os compósitos são formados com maiores proporções de cimento do que de madeira.

Macêdo et al. (2011) estudaram a compressão de compósitos produzidos com até 5% de mistura de partículas de Angelim Pedra (*Hymenolobium petraeum Ducke*) e cimentos do tipo CP I e CP II. Foi observado uma tendência de maiores resultados de resistências em compósitos produzidos com CP I após 28 dias de idade. Já Moslemi e Pfister (1987) não observaram diferença entre a resistência à flexão estática e a estabilidade dimensional de painéis feito com CP I ou CP III e madeira de *Pinus contorta*. Os autores atribuíram a homogeneidade dos resultados à composição similar destes dois tipos de cimento.

Azambuja et al. (2014) analisaram painéis particulados madeira-cimento produzidos com madeiras da espécie *Eucalyptus grandis* misturadas com cimento do tipo CP IV - P e CP V - ARI. Os autores encontraram valores estatisticamente diferentes para algumas das propriedades mecânicas. Painéis produzidos com CP IV - P obtiveram maiores valores de módulo de elasticidade, enquanto os que usaram CP V - ARI apresentaram maior resistência à tração perpendicular.

Uma vez que a composição do cimento pode variar entre fabricantes, a simples seleção de uma categoria de cimento Portland não é garantia de resultados homogêneos. Parchen et al. (2016) avaliaram compósitos produzidos com CP II - Z de duas marcas brasileiras diferentes e encontraram comportamentos distintos, mesmo mantendo as outras variáveis iguais.