



UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU
Mestrado Profissional em Engenharia Civil

**Avaliação da compatibilidade do aditivo DRY D1 com
aditivos dispersantes**

Relatório apresentado à Química
Edile do Brasil referente ao projeto
de pesquisa 08/2021.

Mestrando Leandro Barioni do Nascimento
Professor Mestre Cláudio Oliveira Silva
Professor Doutor Renan Pícolo Salvador

06 de julho de 2022

Sumário

1. Introdução.....	3
2. Objetivos	5
3. Programa experimental	6
3.1. Materiais	6
3.2. Caracterização de materiais	7
3.2.1. Cimento e DRY D1	7
3.2.2. Aditivos dispersantes	9
3.3. Dosagem e preparação de pastas de cimento	9
3.4. Dosagem e preparação de suspensões de cimento	12
3.5. Ensaio realizados	13
3.5.1. Calorimetria isotérmica	13
3.5.2. Espalhamento por <i>mini-slump</i>	14
3.5.3. Espectrofotometria UV-vis.....	14
4. Resultados e discussão	16
4.1. Calorimetria isotérmica.....	16
4.2. Espalhamento por <i>mini-slump</i>	20
4.3. Espectrofotometria UV-vis	24
5. Conclusões	27
Referências bibliográficas	28

1. Introdução

Desde a década de 1970, a tecnologia de concreto apresentou um progresso considerável. Tal evolução não foi somente devida ao desenvolvimento de novos cimentos e de processos construtivos inovadores, mas também a um grande esforço aplicado à ciência de aditivos. Atualmente, a produção de concretos de elevada resistência e desempenho, aplicados a elementos de grande complexidade estrutural, depende fortemente da utilização de aditivos de alta eficiência [1–4].

Aditivos dispersantes são comumente utilizados na produção de misturas cimentícias e são um componente fundamental para as usinas concreteiras [5]. Esses produtos químicos contribuem para a dispersão das partículas do ligante por meio da criação de forças repulsivas entre elas, impedindo sua aglomeração [6]. Dessa forma, as propriedades da mistura no estado fresco são aprimoradas, otimizando o comportamento reológico com menor relação água/cimento e menor risco de ocorrer exsudação e segregação [5]. Além disso, o desenvolvimento da microestrutura e das propriedades mecânicas da matriz é otimizado, conseguindo-se uma estrutura menos porosa e permeável, com menor retração e maior durabilidade [7].

Apesar de sua ampla utilização, aditivos dispersantes são o assunto de diversas pesquisas, para a maior compreensão dos seus mecanismos de dispersão e para melhoria de sua eficiência [8,9]. Como esses polímeros atuam na interface sólido-líquido do sistema coloidal da pasta de cimento [5], pode ocorrer sua adsorção seletiva em diferentes superfícies no decorrer da hidratação à curtas idades, dependendo da sua afinidade por diferentes fases contidas no ligante [7]. No caso do mercado brasileiro, a eficiência desses aditivos pode ainda ser mais comprometida, dado que grande parte do cimento empregado é composto, contendo filer calcário, escória de alto-forno ou sílica reativa [10].

Considerando o DRY D1 como um aditivo amplamente empregado em pisos e pavimentos de concreto, é fundamental caracterizar sua interação com diferentes ligantes e aditivos dispersantes. Dessa forma, podem ser obtidos para a obtenção de sistemas ligante-DRY D1-dispersante compatíveis, para otimizar sua eficiência e capacidade de compensar a retração de sistemas cimentícios. Além disso, a possibilidade de ocorrer efeitos colaterais inesperados e comportamentos indesejados é significativamente reduzida.

Neste contexto, o objetivo geral do estudo realizado foi caracterizar a interação entre o aditivo DRY D1, ligantes e aditivos dispersantes. Um programa experimental foi conduzido para avaliar o processo de hidratação de misturas cimentícias contendo ligantes, aditivo DRY D1 e diferentes aditivos dispersantes. Os resultados obtidos podem ter uma repercussão significativa na utilização do DRY D1 em matrizes cimentícias produzidas com cimentos e dispersantes. Com isso, podem ser formulados sistemas com elevada compatibilidade ligante-DRY D1-dispersante, otimizando as propriedades mecânicas, a durabilidade, a ecoeficiência e o valor econômico.

2. Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é caracterizar a interação entre o aditivo DRY D1, aditivos dispersantes e materiais cimentícios. Para isso, foram definidos os 3 objetivos específicos, descritos a seguir:

- Analisar se ocorre a adsorção preferencial do agente dispersante pelo aditivo DRY D1.
- Avaliar a capacidade de dispersão dos aditivos dispersantes em misturas que contenham DRY D1.
- Caracterizar a cinética, os mecanismos de hidratação e a microestrutura de sistemas produzidos com DRY D1, aditivos dispersantes e diferentes ligantes.

3. Programa experimental

A pesquisa foi desenvolvida nos laboratórios de Engenharia Civil da Universidade São Judas Tadeu (USJT), em parceria com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). As etapas do programa experimental estão descritas na Figura 1. A descrição de cada etapa está apresentada nos itens 3.1 ao 3.5.

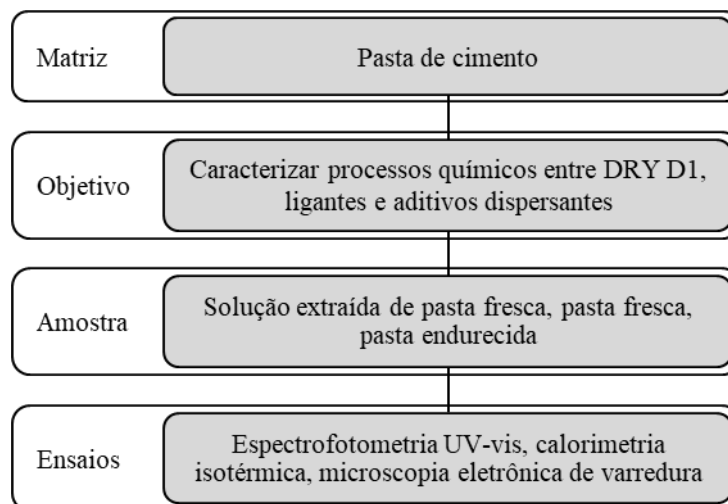


Figura 1 - Esquema do programa experimental.

3.1. Materiais

Os materiais selecionados para a campanha experimental estão descritos na tabela 1. O cimento e o DRY D1 foram armazenados em sacos plásticos vedados e mantidos em local reservado, para evitar absorção de água e carbonatação. O aditivo DRY D1 foi fornecido pela empresa Chimica Edile do Brasil. Os aditivos dispersantes foram selecionados com base nas recomendações dos fabricantes para emprego na fabricação de concretos para pisos industriais.

Tabela 1 - Materiais selecionados para a campanha experimental.

Material	Tipo	Fornecedor
Cimento	CP V ARI RS	InterCement Ijací
Aditivo compensador de retração	Óxido de cálcio supercalcinado (DRY D1)	Chimica Edile do Brasil
ADVA Cast 525	Superplastificante baseado em éter de policarboxilato	GCP
Muraplast FK 830	Plastificante polifuncional	MC-Bauchemie

Tabela 1 - Materiais selecionados para a campanha experimental (*continuação*).

Material	Tipo	Fornecedor
Murasan BWA 16	Aditivo para concreto vibroprensado	MC-Bauchemie
Powerflow 1180	Superplastificante baseado em éter de policarboxilato	MC-Bauchemie
Sikament 370 RM	Plastificante polifuncional (pega normal)	Sika
Sikament 380 RM	Plastificante polifuncional (pega retardada)	Sika
Sikaplast 900	Superplastificante baseado em éter de policarboxilato	Sika
Viscocrete 6090 SK	Viscocrete 6090 SK	Sika
Água	Deionizada	USJT

3.2. Caracterização de materiais

3.2.1. Cimento e DRY D1

As composições químicas do cimento e do aditivo DRY D1, determinadas por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX), estão na Tabela 2. As composições mineralógicas do cimento e do aditivo DRY D1, determinadas por difração de raios-X (DRX) com refinamento de Rietveld pelo método do padrão externo estão nas Tabela 3 e Tabela 4. Além disso, a distribuição do tamanho de partículas dos dois compostos está na Figura 2 e suas propriedades físicas na Tabela 5.

Tabela 2 - Composições químicas do cimento e do DRY D1 determinadas por FRX.

Óxido	Cimento (% em massa)	DRY D1 (% em massa)
Perda ao fogo	3,13	4,50
CaO	64,6	90,5
SiO ₂	15,4	1,14
Al ₂ O ₃	3,81	0,18
Fe ₂ O ₃	3,43	0,19
SO ₃	5,19	0,07
MgO	1,80	0,89
K ₂ O	1,02	0,02
Na ₂ O	0,35	0,01
Componentes minoritários	1,10	2,50
Total	100,0	100,0

Tabela 3 - Composição mineralógica do cimento determinada por DRX.

Fase	Quantidade (% em massa)
C ₃ S	58,9
C ₂ S	11,4
C ₃ A _c	5,8
C ₃ A _o	2,1
C ₄ AF	7,9
Ca(OH) ₂	1,2
CaCO ₃	2,7
CaSO ₄ .0,5H ₂ O	6,8
CaSO ₄	1,7
SiO ₂	1,5
Soma total	100,0

Tabela 4 - Composição mineralógica do DRY D1 determinada por DRX.

Fase	Quantidade (% em massa)
CaO	90,5
MgO	0,3
Ca(OH) ₂	5,2
CaCO ₃	1,5
CaMg(CO ₃) ₂	2,6
Soma total	100,0

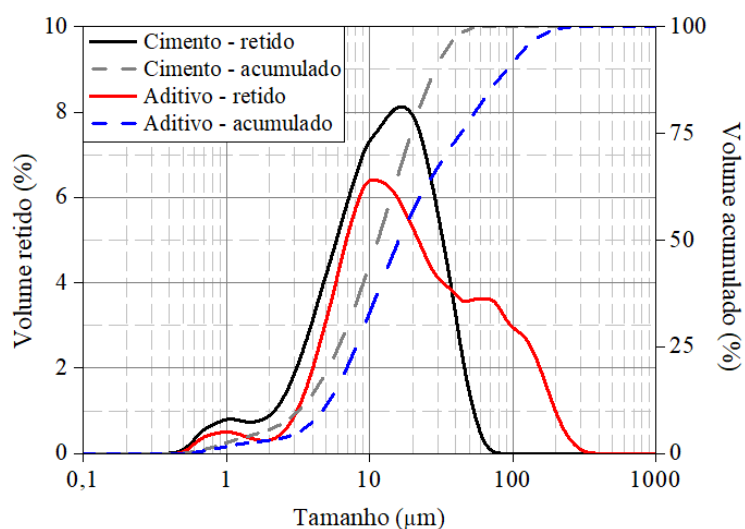


Figura 2 - Curvas de distribuição do tamanho de partícula do cimento CP V ARI RS e do aditivo.

Tabela 5 - Diâmetros das partículas obtidos por granulometria a laser.

Propriedade	Cimento	DRY D1
Massa específica (g/cm ³)	3,05	3,13
d ₁₀ (µm)	3,80	5,6
d ₅₀ (µm)	13,6	19,1
d ₉₀ (µm)	34,2	108,0

3.2.2. Aditivos dispersantes

As propriedades e características dos aditivos dispersantes utilizados no estudo estão na Tabela 6.

Tabela 6 - Propriedades e características dos aditivos dispersantes.

Material	Aspecto visual	Massa específica (g/cm³)	Teor de sólidos (% em massa)
ADVA Cast 525	Líquido alaranjado	1,06	33
Muraplast FK 830	Líquido marrom	1,10	29
Murasan BWA 16	Líquido azul	1,00	34
Powerflow 1180	Líquido marrom	1,09	31
Sikament 370 RM	Líquido marrom	1,19	34
Sikament 380 RM	Líquido marrom	1,15	32
Sikaplast 900	Líquido marrom	1,14	32
Viscocrete 6090 SK	Líquido marrom	1,07	31

3.3. Dosagem e preparação de pastas de cimento

As pastas de cimento foram produzidas com uma relação água/cimento (a/c) fixa igual a 0,45. Os teores de DRY D1 foram 3,0 e 5,0% sobre a massa de cimento. Todos os aditivos dispersantes foram adicionados nos teores de 0,30 e 0,60% sobre a massa de cimento. No total, foram produzidas 45 pastas de cimento, conforme apresentado na Tabela 7. Vale ressaltar que também foram produzidas pastas somente com cimento e aditivos dispersantes (sem DRY D1), para análise comparativa de interação ligante-DRY D1-dispersante.

Tabela 7 - Identificação das pastas de cimento analisadas por calorimetria isotérmica, com proporções relativas entre os materiais.

Identificação	Cimento (g)	Água (g)	DRY D1 (g)	Aditivo dispersante (tipo / massa)
DRY D1 0% (Referência)	100,0	45,0	-	-
DRY D1 3%	100,0	45,0	3,0	-
DRY D1 5%	100,0	45,0	5,0	-
DRY D1 0% ADVA Cast 525 0,3%	100,0	44,82	-	ADVA Cast 525 / 0,30 g
DRY D1 0% ADVA Cast 525 0,6%	100,0	44,64	-	ADVA Cast 525 / 0,60 g
DRY D1 3% ADVA Cast 525 0,3%	100,0	44,82	3,0	ADVA Cast 525 / 0,30 g
DRY D1 3% ADVA Cast 525 0,6%	100,0	44,64	3,0	ADVA Cast 525 / 0,60 g
DRY D1 5% ADVA Cast 525 0,3%	100,0	44,82	5,0	ADVA Cast 525 / 0,30 g
DRY D1 5% ADVA Cast 525 0,6%	100,0	44,64	5,0	ADVA Cast 525 / 0,60 g
DRY D1 0% Muraplast FK 830 0,3%	100,0	44,82	-	Muraplast FK 830 / 0,30 g
DRY D1 0% Muraplast FK 830 0,6%	100,0	44,64	-	Muraplast FK 830 / 0,60 g
DRY D1 3% Muraplast FK 830 0,3%	100,0	44,82	3,0	Muraplast FK 830 / 0,30 g
DRY D1 3% Muraplast FK 830 0,6%	100,0	44,64	3,0	Muraplast FK 830 / 0,60 g
DRY D1 5% Muraplast FK 830 0,3%	100,0	44,82	5,0	Muraplast FK 830 / 0,30 g
DRY D1 5% Muraplast FK 830 0,6%	100,0	44,64	5,0	Muraplast FK 830 / 0,60 g
DRY D1 0% Murasan BWA 16 0,3%	100,0	44,82	-	Murasan BWA 16 / 0,30 g
DRY D1 0% Murasan BWA 16 0,6%	100,0	44,64	-	Murasan BWA 16 / 0,60 g
DRY D1 3% Murasan BWA 16 0,3%	100,0	44,82	3,0	Murasan BWA 16 / 0,30 g
DRY D1 3% Murasan BWA 16 0,6%	100,0	44,64	3,0	Murasan BWA 16 / 0,60 g
DRY D1 5% Murasan BWA 16 0,3%	100,0	44,82	5,0	Murasan BWA 16 / 0,30 g
DRY D1 5% Murasan BWA 16 0,6%	100,0	44,64	5,0	Murasan BWA 16 / 0,60 g
DRY D1 0% Powerflow 1180 0,3%	100,0	44,82	-	Powerflow 1180 / 0,30 g
DRY D1 0% Powerflow 1180 0,6%	100,0	44,64	-	Powerflow 1180 / 0,60 g
DRY D1 3% Powerflow 1180	100,0	44,82	3,0	Powerflow 1180 / 0,30 g
DRY D1 3% Powerflow 1180 0,6%	100,0	44,64	3,0	Powerflow 1180 / 0,60 g
DRY D1 5% Powerflow 1180 0,3%	100,0	44,82	5,0	Powerflow 1180 / 0,30 g
DRY D1 5% Powerflow 1180 0,6%	100,0	44,64	5,0	Powerflow 1180 / 0,60 g

Tabela 7 - Identificação das pastas de cimento analisadas por calorimetria isotérmica, com proporções relativas entre os materiais (*continuação*).

Identificação	Cimento (g)	Água (g)	DRY D1 (g)	Aditivo dispersante (tipo / massa)
DRY D1 0% Sikament 370 0,3%	100,0	44,82	-	Sikament 370 RM / 0,30 g
DRY D1 0% Sikament 370 0,6%	100,0	44,64	-	Sikament 370 RM / 0,60 g
DRY D1 3% Sikament 370 0,3%	100,0	44,82	3,0	Sikament 370 RM / 0,30 g
DRY D1 3% Sikament 370 0,6%	100,0	44,64	3,0	Sikament 370 RM / 0,60 g
DRY D1 5% Sikament 370 0,3%	100,0	44,82	5,0	Sikament 370 RM / 0,30 g
DRY D1 5% Sikament 370 0,6%	100,0	44,64	5,0	Sikament 370 RM / 0,60 g
DRY D1 0% Sikament 380 0,3%	100,0	44,82	-	Sikament 380 RM / 0,30 g
DRY D1 0% Sikament 380 0,6%	100,0	44,64	-	Sikament 380 RM / 0,60 g
DRY D1 3% Sikament 380 0,3%	100,0	44,82	3,0	Sikament 380 RM / 0,30 g
DRY D1 3% Sikament 380 0,6%	100,0	44,64	3,0	Sikament 380 RM / 0,60 g
DRY D1 5% Sikament 380 0,3%	100,0	44,82	5,0	Sikament 380 RM / 0,30 g
DRY D1 5% Sikament 380 0,6%	100,0	44,64	5,0	Sikament 380 RM / 0,60 g
DRY D1 0% Sikaplast 900 0,3%	100,0	44,82	-	Sikaplast 900 / 0,30 g
DRY D1 0% Sikaplast 900 0,6%	100,0	44,64	-	Sikaplast 900 / 0,60 g
DRY D1 3% Sikaplast 900 0,3%	100,0	44,82	3,0	Sikaplast 900 / 0,30 g
DRY D1 3% Sikaplast 900 0,6%	100,0	44,64	3,0	Sikaplast 900 / 0,60 g
DRY D1 5% Sikaplast 900 0,3%	100,0	44,82	5,0	Sikaplast 900 / 0,30 g
DRY D1 5% Sikaplast 900 0,6%	100,0	44,64	5,0	Sikaplast 900 / 0,60 g
DRY D1 0% Viscocrete 6090 0,3%	100,0	44,82	-	Viscocrete 6090 SK / 0,30 g
DRY D1 0% Viscocrete 6090 0,6%	100,0	44,64	-	Viscocrete 6090 SK / 0,60 g
DRY D1 3% Viscocrete 6090 0,3%	100,0	44,82	3,0	Viscocrete 6090 SK / 0,30 g
DRY D1 3% Viscocrete 6090 0,6%	100,0	44,64	3,0	Viscocrete 6090 SK / 0,60 g
DRY D1 5% Viscocrete 6090 0,3%	100,0	44,82	5,0	Viscocrete 6090 SK / 0,30 g
DRY D1 5% Viscocrete 6090 0,6%	100,0	44,64	5,0	Viscocrete 6090 SK / 0,60 g

Para a produção de cada amostra, 200 g de pasta foram preparadas pela pré-mistura de cimento e DRY D1, seguido da adição de água e homogeneização por 1 min usando um agitador

IKA RW 20 acoplado a um eixo R1342 de 4 lâminas a 1500 rpm. Após esse tempo, o agitador foi desligado e as paredes internas do recipiente foram limpas durante 30 s com uma espátula. Então, a pasta foi homogeneizada novamente por 1 min a 1500 rpm no agitador. Em seguida, o aditivo dispersante foi adicionado e misturado por 1 min a 1500 rpm no agitador. Concluído o processo de mistura, a pasta foi destinada para o ensaio de calorimetria isotérmica para a determinação do espalhamento por *mini-slump*.

3.4. Dosagem e preparação de suspensões de cimento

As suspensões de cimento foram produzidas com uma relação água/cimento (a/c) fixa igual 10. O teor de DRY D1 foi igual a 5,0% sobre a massa de cimento. O aditivo dispersante Muraplast FK 830 foi empregado na dosagem de 0,60% sobre a massa de cimento. Esse aditivo foi selecionado por conter grupos aromáticos em sua molécula, o que permite sua detecção por radiação ultravioleta. No total, foram produzidas 4 suspensões de cimento, conforme descrição na Tabela 8.

Tabela 8 - Identificação das suspensões de cimento analisadas espectrofotometria UV-vis, com proporções relativas entre os materiais.

Identificação	Cimento (g)	Água (g)	DRY D1 (g)	Aditivo dispersante (tipo / massa)
Referência	100,0	1000,0	-	-
Muraplast FK 830 0,6%	100,0	1000,0	-	Muraplast FK 830 / 0,60 g
DRY D1 5%	100,0	1000,0	5,0	-
DRY D1 5%_Muraplast FK 830 0,6%	100,0	45,0	5,0	Muraplast FK 830 / 0,60 g

As suspensões foram produzidas utilizando um agitador e uma barra magnética [11]. Cimento, DRY D1 e água foram misturados por 5 min em rotação constante a 1500 rpm. Então, o aditivo dispersante Muraplast FK 830 foi adicionado à suspensão e homogeneizado por mais 5 min. Essas suspensões foram produzidas para o ensaio de espectrofotometria UV-vis, como uma adaptação do procedimento utilizado por Minard et al [12].

Nas idades de 5, 60 e 120 min após a adição do aditivo dispersante, a agitação foi paralisada até que a fase sólida decantasse. Depois disso, uma alíquota de 5 ml da fase líquida foi coletada e filtrada para remoção das partículas sólidas em suspensão. Com o filtrado obtido, foi determinada sua absorvância utilizando um espectrofotômetro UV-vis. É importante

salientar que a agitação foi mantida constante durante todo o processo. A Figura 3 apresenta o processo de preparação das suspensões.

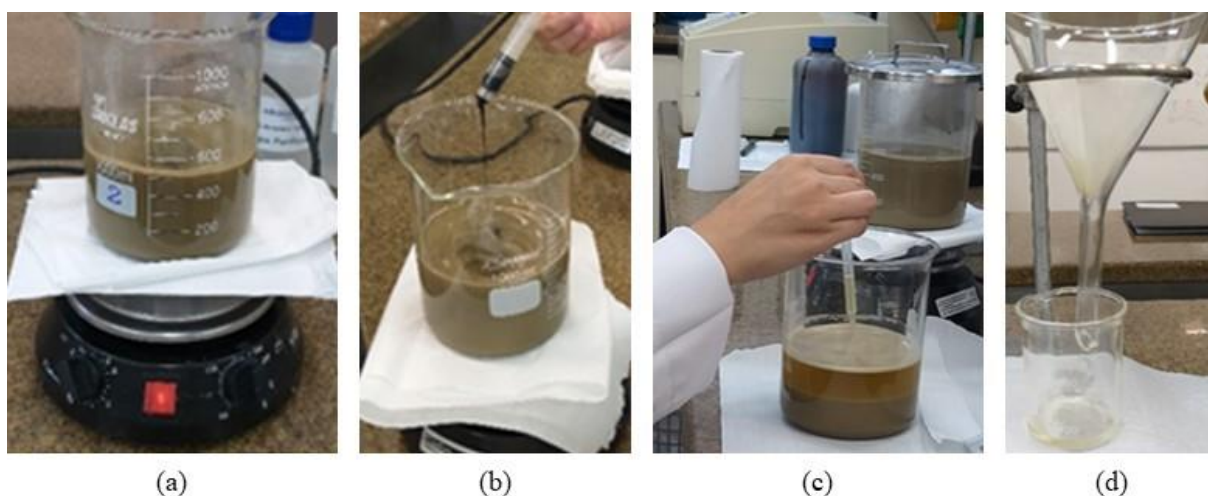


Figura 3 - Processo de preparação de suspensões: (a) Mistura no agitador magnético; (b) Adição do aditivo dispersante; (c) Coleta do líquido após sedimentação do material; (d) Filtração para retirada de resíduos sólidos.

3.5. Ensaios realizados

Os ensaios realizados na campanha experimental estão mostrados na Tabela 9 e suas descrições estão apresentadas subsequentemente.

Tabela 9 - Ensaios realizados na campanha experimental.

Ensaio	Matriz	Idade / Período	Referência
Calorimetria isotérmica	Pasta de cimento fresca	0 - 72 h	[13]
Espalhamento por <i>mini-slump</i>	Pasta de cimento fresca	5 min após a adição do aditivo dispersante	[14]
Espectrofotometria UV-vis	Suspensão de cimento	5, 60 e 120 min após a adição do aditivo dispersante	[11]

3.5.1. Calorimetria isotérmica

A calorimetria isotérmica foi realizada a 23 °C durante 72 h com 8,0 g de pasta de cimento, utilizando um calorímetro isotérmico TAMAir. Esse ensaio foi realizado para analisar como os aditivos influenciam a cinética de hidratação de pastas de cimento. Com isso, foi possível analisar a interação ligante-DRY D1-dispersante para verificar se existem incompatibilidades que podem resultar em efeitos negativos durante o processo de hidratação e desenvolvimento de resistência mecânica.

3.5.2. Espalhamento por *mini-slump*

O tronco de cone utilizado para a determinação do espalhamento por *mini-slump* representa um cone Abrams [15] reduzido, com as seguintes dimensões: diâmetro superior: 19 mm; diâmetro inferior: 38 mm; altura: 57 mm. O cone foi produzido com poli(tetrafluoroetileno), para evitar aderência da pasta de cimento em suas paredes internas. Além disso, o cone foi colocado sobre uma placa de vidro plano, limpa e seca, para evitar problemas relativos ao espalhamento da pasta.

O espalhamento das pastas de cimento foi determinado 5 min após a adição do aditivo dispersante. A pasta foi colocada no cone e, em seguida, o cone foi levantado verticalmente em 10 s para minimizar os efeitos inerciais. Depois de 1 min da retirada do cone, o diâmetro da pasta espalhada foi determinado. Cada pasta foi testada em triplicata, usando três lotes de pasta misturados separadamente, para obter uma boa reprodutibilidade estatística dos dados obtidos e para garantir que todos os testes fossem realizados em pastas com histórico de cisalhamento diretamente comparável. O processo de execução do ensaio pode ser visualizado na Figura 4.

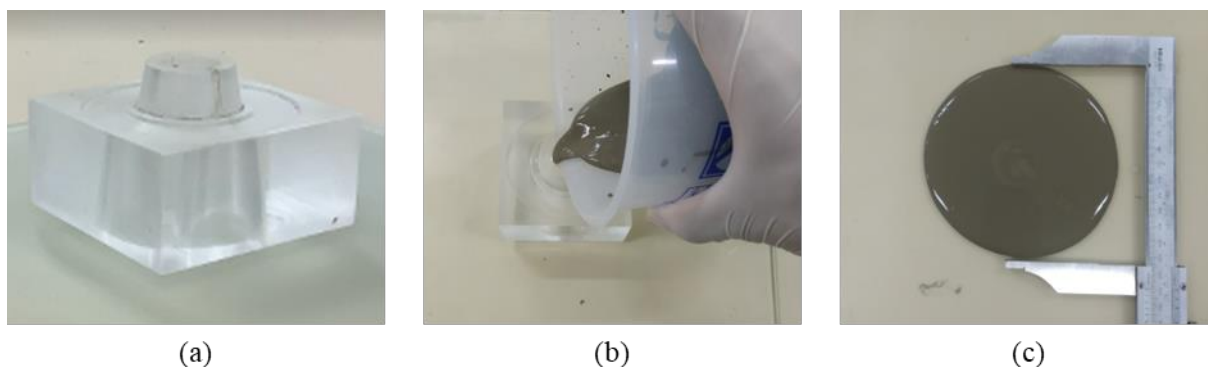


Figura 4 - Ensaio de espalhamento por *mini-slump*: tronco de cone utilizado (a); preenchimento do cone com pasta (b); medição do diâmetro de espalhamento (c).

3.5.3. Espectrofotometria UV-vis

A espectrofotometria UV-vis foi realizada para a obtenção da isoterma de adsorção do aditivo Muraplast FK 830 em pastas de cimento contendo DRY D1. Esse ensaio foi conduzido nas idades de 5, 60 e 120 min após a adição do aditivo dispersante. Nessas idades, uma alíquota da suspensão foi retirada com uma seringa e filtrada. A solução obtida foi transferida para uma cubeta de quartzo e sua absorvância foi determinada em um espectrofotômetro UV mini 1240 – Shimadzu, com o comprimento de onda 430 nm.

Esse ensaio foi realizado apenas com as suspensões contendo o aditivo Muraplast FK 830, pois sua molécula contém grupos funcionais aromáticos que absorvem radiação ultravioleta [16]. Não foi possível realizar esse ensaio com os aditivos superplastificantes compostos por éter de policarboxilato, pois sua estrutura molecular é linear e não contém grupos que absorvam radiação ultravioleta.

4. Resultados e discussão

4.1. Calorimetria isotérmica

A Figura 5 apresenta as curvas de fluxo de calor obtidas com pastas de cimento produzidas com os aditivos dispersantes. A Tabela 10 mostra os pontos característicos dessas curvas, determinados de acordo com Salvador et al [13]. As conclusões derivadas dessa análise estão apresentadas subsequentemente.

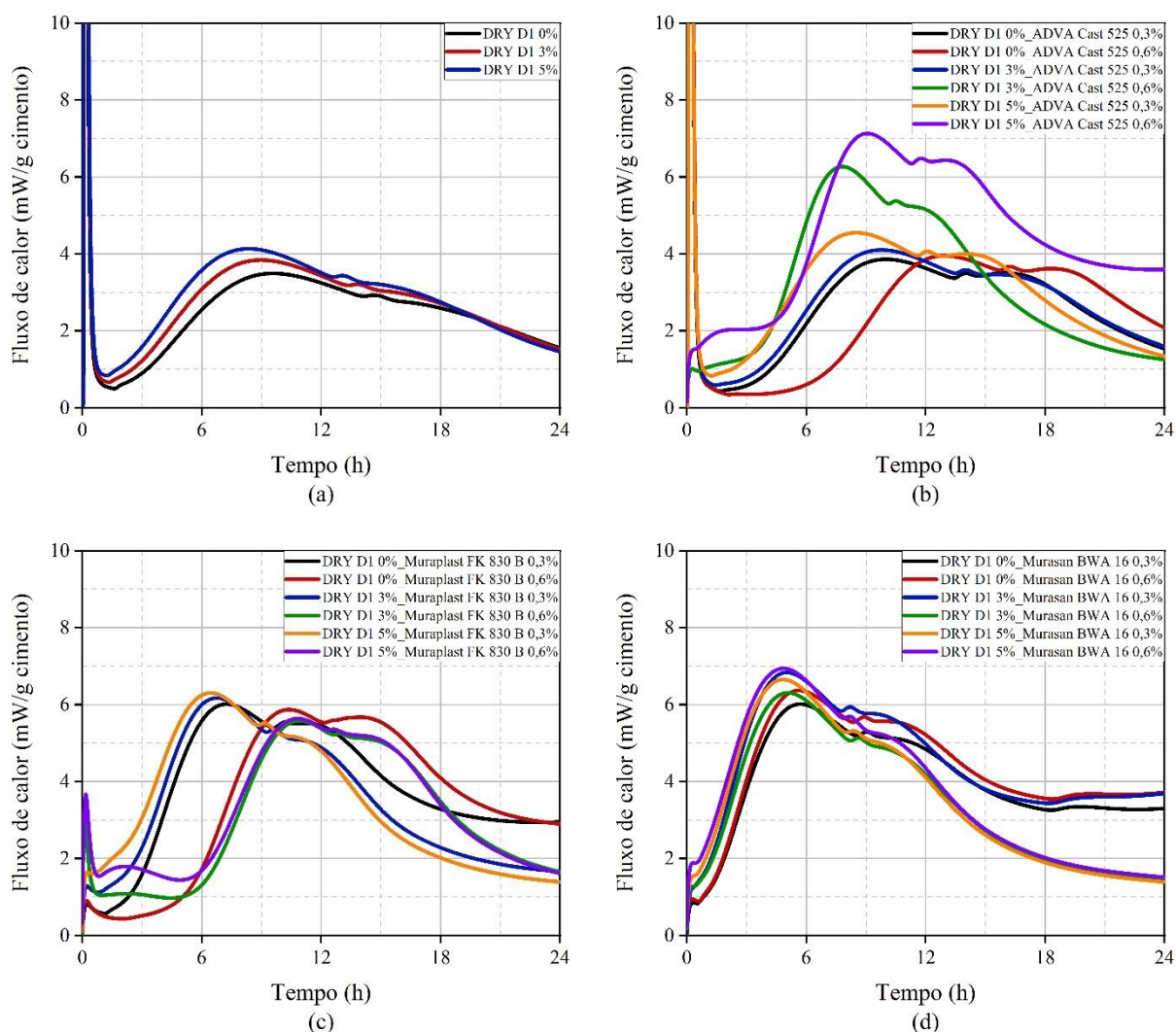


Figura 5 - Curvas de calor de hidratação de pastas de cimento: referência (a); Adva Cast (b); Muraplast FK 830 (c); Murasan BWA 16 (d); Powerflow 1180 (e); Sikament 370 (f); Sikament 380 (g); Sikaplast 900 (h); Viscocrete 6090 (i).

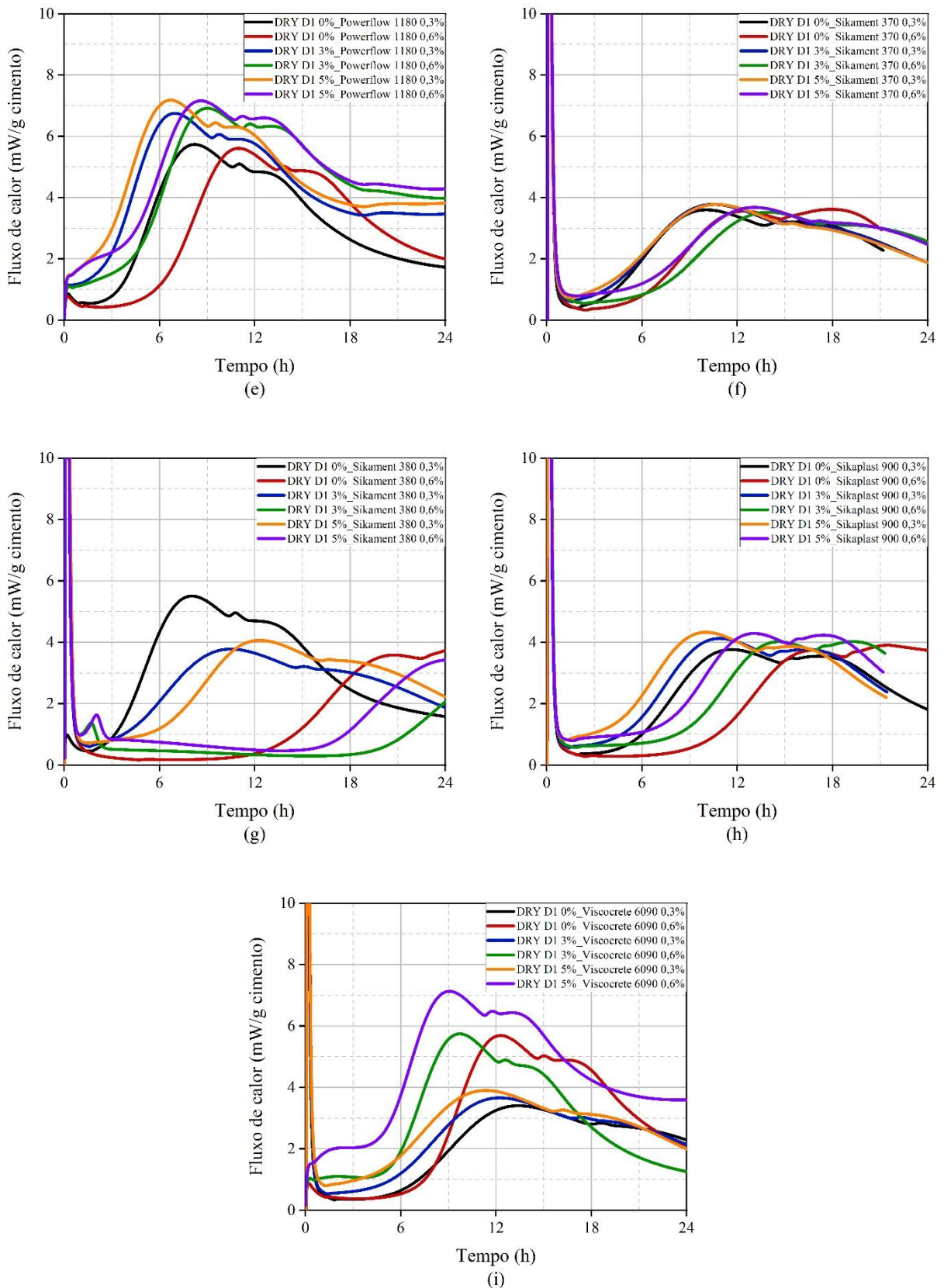


Figura 5 - Curvas de calor de hidratação de pastas de cimento: referência (a); Adva Cast (b); Muraplast FK 830 (c); Murasan BWA 16 (d); Powerflow 1180 (e); Sikament 370 (f); Sikament 380 (g); Sikaplast 900 (h); Viscocrete 6090 (i) (continuação).

Tabela 10 - Resultados derivados das curvas de calor de hidratação de pastas de cimento.

Identificação	Período de indução (h) / Início de pega (h)	Taxa de reação pico principal (mW/g. h)	Máximo fluxo de calor (mW/g cimento)	Energia liberada até 24 h (J/g)
DRY D1 0% (Referência)	2,3	0,54	2,45	50,4
DRY D1 3%	2,1	0,60	2,69	62,5
DRY D1 5%	1,9	0,67	2,90	68,1
DRY D1 0% ADVA Cast 525 0,3%	3,4	0,66	2,71	256,3
DRY D1 0% ADVA Cast 525 0,6%	6,3	0,65	2,77	243,8
DRY D1 3% ADVA Cast 525 0,3%	3,2	0,67	2,87	273,3
DRY D1 3% ADVA Cast 525 0,6%	4,1	1,50	4,39	249,9
DRY D1 5% ADVA Cast 525 0,3%	2,6	0,78	3,18	289,7
DRY D1 5% ADVA Cast 525 0,6%	5,1	1,45	5,00	361,3
DRY D1 0% Muraplast FK 830 0,3%	2,7	1,10	4,21	304,5
DRY D1 0% Muraplast FK 830 0,6%	5,2	1,19	4,10	279,6
DRY D1 3% Muraplast FK 830 0,3%	2,4	1,31	4,32	271,9
DRY D1 3% Muraplast FK 830 0,6%	6,3	1,14	3,90	244,5
DRY D1 5% Muraplast FK 830 0,3%	2,2	1,20	4,41	276,5
DRY D1 5% Muraplast FK 830 0,6%	6,3	1,07	3,95	260,1
DRY D1 0% Murasan BWA 16 0,3%	1,5	1,47	4,20	320,8
DRY D1 0% Murasan BWA 16 0,6%	1,5	1,58	4,45	351,0
DRY D1 3% Murasan BWA 16 0,3%	1,1	1,70	4,79	362,8
DRY D1 3% Murasan BWA 16 0,6%	1,3	1,55	4,42	274,4
DRY D1 5% Murasan BWA 16 0,3%	1,1	1,63	4,66	278,2
DRY D1 5% Murasan BWA 16 0,6%	1,0	1,61	4,86	303,8
DRY D1 0% Powerflow 1180 0,3%	3,7	1,27	4,02	247,8
DRY D1 0% Powerflow 1180 0,6%	6,1	1,12	3,93	235,2
DRY D1 3% Powerflow 1180	2,8	1,45	4,72	337,4
DRY D1 3% Powerflow 1180 0,6%	4,4	1,29	4,84	358,3
DRY D1 5% Powerflow 1180 0,3%	2,4	1,41	5,03	377,4
DRY D1 5% Powerflow 1180 0,6%	4,3	1,30	5,02	389,3

Tabela 10 - Resultados derivados das curvas de calor de hidratação de pastas de cimento (*continuação*).

Identificação	Período de indução (h) / Início de pega (h)	Taxa de reação pico principal (mW/g. h)	Máximo fluxo de calor (mW/g cimento)	Energia liberada até 24 h (J/g)
DRY D1 0% Sikament 370 0,3%	4,0	0,59	2,45	-
DRY D1 0% Sikament 370 0,6%	6,0	0,54	2,49	-
DRY D1 3% Sikament 370 0,3%	3,5	0,54	3,78	249,5
DRY D1 3% Sikament 370 0,6%	6,0	0,44	2,47	208,7
DRY D1 5% Sikament 370 0,3%	3,2	0,48	2,65	235,8
DRY D1 5% Sikament 370 0,6%	5,7	0,45	2,58	229,6
DRY D1 0% Sikament 380 0,3%	3,5	1,23	3,86	241,9
DRY D1 0% Sikament 380 0,6%	13,6	0,49	2,51	144,5
DRY D1 3% Sikament 380 0,3%	3,3	0,53	2,65	249,5
DRY D1 3% Sikament 380 0,6%	20,8	0,41	2,40	85,4
DRY D1 5% Sikament 380 0,3%	6,5	0,57	2,85	252,9
DRY D1 5% Sikament 380 0,6%	17,8	0,47	2,40	129,4
DRY D1 0% Sikaplast 900 0,3%	6,0	0,62	2,64	236,8
DRY D1 0% Sikaplast 900 0,6%	9,5	0,54	2,62	-
DRY D1 3% Sikaplast 900 0,3%	4,7	0,64	2,89	-
DRY D1 3% Sikaplast 900 0,6%	8,1	0,57	2,81	-
DRY D1 5% Sikaplast 900 0,3%	4,1	0,65	3,03	-
DRY D1 5% Sikaplast 900 0,6%	7,1	0,61	3,00	-
DRY D1 0% Viscocrete 6090 0,3%	5,5	0,47	2,38	189,1
DRY D1 0% Viscocrete 6090 0,6%	7,6	1,23	3,99	225,6
DRY D1 3% Viscocrete 6090 0,3%	4,3	0,48	2,56	218,2
DRY D1 3% Viscocrete 6090 0,6%	5,7	1,29	4,02	231,5
DRY D1 5% Viscocrete 6090 0,3%	3,8	0,48	2,73	239,8
DRY D1 5% Viscocrete 6090 0,6%	5,0	1,41	4,98	361,3

De maneira geral, o emprego de todos os aditivos dispersantes promove retardo na pega das pastas de cimento. Observa-se aumento no período de indução, diminuição da taxa de

reação do cimento e diminuição do grau de hidratação da pasta, principalmente quando se usam maiores teores de dispersantes ou aditivos polifuncionais. Com a maior dosagem de aditivo, maior a concentração desse composto na fase líquida, que tende a reduzir a velocidade de dissolução das fases do cimento, retardando a supersaturação da solução com íons cálcio e o início do período de aceleração.

O uso de DRY D1 nas pastas contribui para acelerar a cinética de reações de hidratação. O óxido de cálcio supercalcinado tem maior afinidade com as moléculas dos aditivos dispersantes quando comparado ao cimento. Portanto, as moléculas dos dispersantes são adsorvidas preferencialmente na superfície do DRY D1, diminuindo a concentração do aditivo dissolvido na fase líquida, que contribui para diminuir o tempo de indução e o tempo de início de pega. Tal efeito é mais significativo nas pastas contendo 5% de DRY D1, pois maior a área superficial adicional para adsorção das moléculas do aditivo.

Os efeitos causados por aditivos compostos por éter de policarboxilato são significativamente menos intensos que os efeitos causados por aditivos polifuncionais. Como as moléculas de éter de policarboxilato são sintéticas, sua estrutura molecular é definida para que haja alta interação com as partículas de cimento, promovendo maior dispersão e menores efeitos na pega. Portanto, as pastas produzidas com éter de policarboxilato apresentam menor tempo de indução, maior velocidade de reação e maior grau de hidratação que as pastas contendo polifuncionais.

De acordo com as curvas analisadas, pode ser considerado que os aditivos ADVA Cast 525, Muraplast FK 830 B, Murasan BWA 16, Powerflow 1180, Sikament 370, Sikaplast 900 e Viscocrete 6090 apresentam boa compatibilidade com o DRY D1. Entretanto, a compatibilidade do aditivo Sikament 380 com o DRY D1 não foi adequada, pois houve retardo significativo no início do tempo de pega das pastas contendo ambos os materiais, atingindo valores superiores a 18 h.

4.2. Espalhamento por *mini-slump*

Os resultados da determinação do espalhamento por *mini-slump* de pastas de cimento estão apresentados na Tabela 11. A Figura 6 ilustra os espalhamentos obtidos com as pastas produzidas com o dispersante ADVA CAST 525 juntamente com o DRY D1. A discussão dos resultados obtidos está apresentada subsequentemente.

Tabela 11 - Resultados médios do espalhamento por *mini-slump* de pastas de cimento.

Identificação	Espalhamento médio (mm)
DRY D1 0% (Referência)	40,68
DRY D1 3%	45,48
DRY D1 5%	40,85
DRY D1 0% _ADVA Cast 525 0,3%	205,30
DRY D1 0% _ADVA Cast 525 0,6%	203,00
DRY D1 3%_ADVA Cast 525 0,3%	202,15
DRY D1 3%_ADVA Cast 525 0,6%	205,88
DRY D1 5%_ADVA Cast 525 0,3%	183,60
DRY D1 5%_ADVA Cast 525 0,6%	201,43
DRY D1 0% _Muraplast FK 830 0,3%	63,60
DRY D1 0% _Muraplast FK 830 0,6%	91,98
DRY D1 3%_Muraplast FK 830 0,3%	58,48
DRY D1 3%_Muraplast FK 830 0,6%	101,13
DRY D1 5%_Muraplast FK 830 0,3%	78,00
DRY D1 5%_Muraplast FK 830 0,6%	95,05
DRY D1 0% _Murasan BWA 16 0,3%	52,98
DRY D1 0% _Murasan BWA 16 0,6%	52,80
DRY D1 3%_Murasan BWA 16 0,3%	50,88
DRY D1 3%_Murasan BWA 16 0,6%	44,50
DRY D1 5%_Murasan BWA 16 0,3%	48,40
DRY D1 5%_Murasan BWA 16 0,6%	49,48
DRY D1 0% _Powerflow 1180 0,3%	109,30
DRY D1 0% _Powerflow 1180 0,6%	139,43
DRY D1 3%_Powerflow 1180	105,38
DRY D1 3%_Powerflow 1180 0,6%	131,38
DRY D1 5%_Powerflow 1180 0,3%	104,88
DRY D1 5%_Powerflow 1180 0,6%	125,20

Tabela 11 - Resultados médios do espalhamento por *mini-slump* de pastas de cimento (*continuação*).

Identificação	Espalhamento médio (mm)
DRY D1 0%_Sikament 370 0,3%	62,65
DRY D1 0%_Sikament 370 0,6%	92,93
DRY D1 3%_Sikament 370 0,3%	73,50
DRY D1 3%_Sikament 370 0,6%	79,90
DRY D1 5%_Sikament 370 0,3%	74,30
DRY D1 5%_Sikament 370 0,6%	80,23
DRY D1 0%_Sikament 380 0,3%	75,38
DRY D1 0%_Sikament 380 0,6%	88,65
DRY D1 3%_Sikament 380 0,3%	82,55
DRY D1 3%_Sikament 380 0,6%	87,80
DRY D1 5%_Sikament 380 0,3%	83,70
DRY D1 5%_Sikament 380 0,6%	94,73
DRY D1 0%_Sikaplast 900 0,3%	136,83
DRY D1 0%_Sikaplast 900 0,6%	185,20
DRY D1 3%_Sikaplast 900 0,3%	157,40
DRY D1 3%_Sikaplast 900 0,6%	181,50
DRY D1 5%_Sikaplast 900 0,3%	135,63
DRY D1 5%_Sikaplast 900 0,6%	192,85
DRY D1 0%_Viscocrete 6090 0,3%	65,43
DRY D1 0%_Viscocrete 6090 0,6%	130,13
DRY D1 3%_Viscocrete 6090 0,3%	79,60
DRY D1 3%_Viscocrete 6090 0,6%	130,58
DRY D1 5%_Viscocrete 6090 0,3%	86,50
DRY D1 5%_Viscocrete 6090 0,6%	124,50

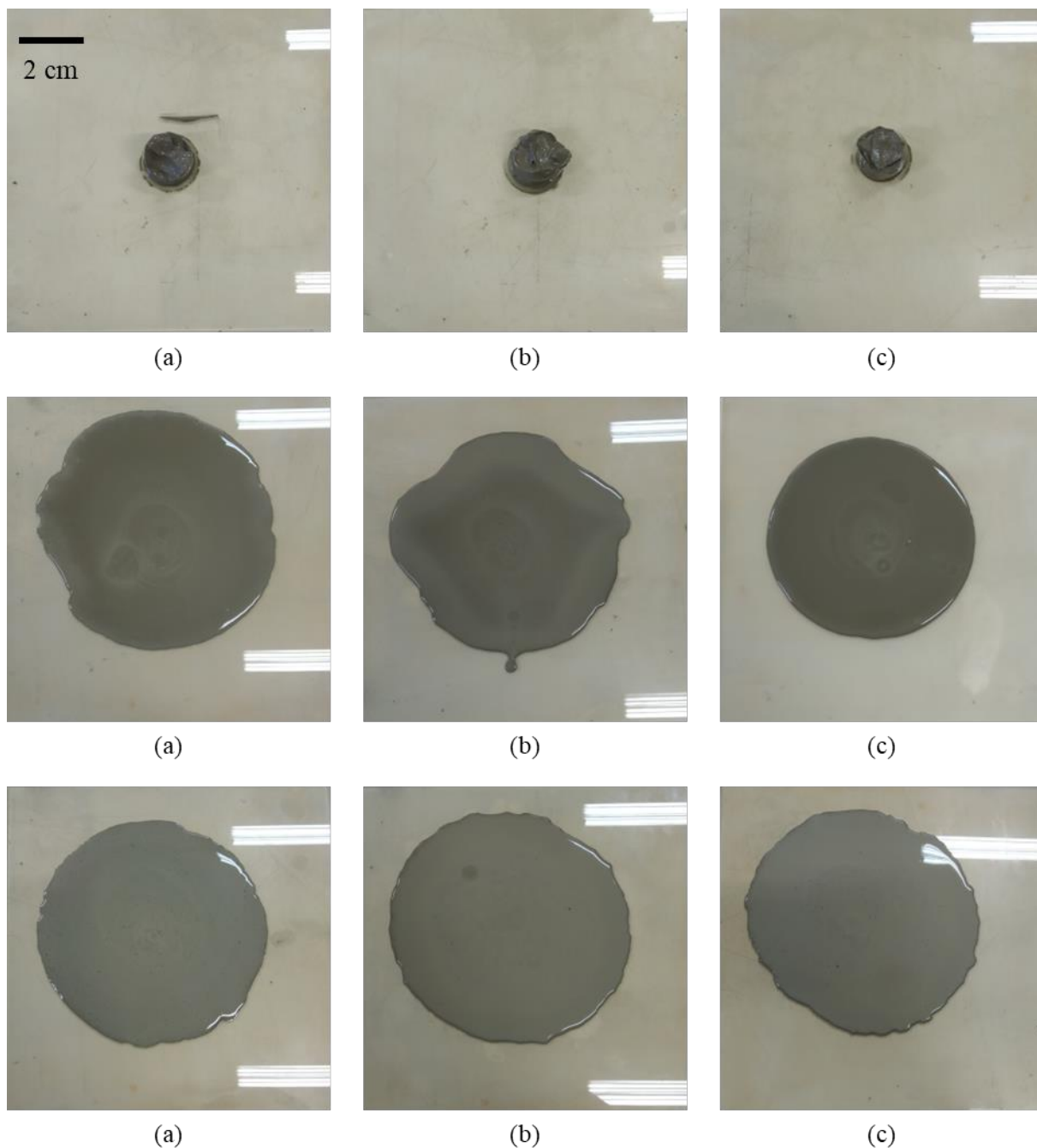


Figura 6 - Espalhamento por mini-slump de pastas de cimento: DRY D1 0% (Referência) (a); DRY D1 3% (b); DRY D1 5% (c); DRY D1 0%_ADVA Cast 525 0,3% (d); DRY D1 0%_ADVA Cast 525 0,6% (e); DRY D1 3%_ADVA Cast 525 0,3% (f); DRY D1 3%_ADVA Cast 525 0,6% (g); DRY D1 5%_ADVA Cast 525 0,3% (h); DRY D1 5%_ADVA Cast 525 0,6% (i).

De modo geral, o emprego de todos os aditivos dispersantes promove aumento no espalhamento das pastas de cimento. Com a maior dosagem do aditivo dispersante (de 0,3% para 0,6% sobre a massa de cimento) observa-se o aumento no espalhamento. Este fato é evidenciado nos aditivos dispersantes Muraplast FK 830, Sikament 380, Powerflow 1180, Sikaplast 900 e Viscocrete 6090. Com o aumento na dosagem dos aditivos ADVA Cast 525 e Murasan BWA 16 (não é evidenciado aumento no espalhamento).

Com a incorporação do aditivo DRY D1 às pastas, observa-se aumento no espalhamento, com predominância no uso combinado com aditivos polifuncionais. Não se nota aumento de espalhamento com o uso dos superplastificantes, visto que estes dispersantes possuem alta eficiência e o ganho promovido pelo DRY D1 fica sobreposto. Entretanto, pode ser notado claramente na Figura 6 que o uso do DRY D1 torna a pasta mais coesa, reduzindo o risco de exsudação e segregação .

4.3. Espectrofotometria UV-vis

A Figura 7 apresenta a curva de calibração de soluções produzidas com o dispersante Muraplast FK 830 em água deionizada. A Figura 8 mostra os resultados de absorvância das soluções extraídas das suspensões de cimento analisadas. Os resultados obtidos nessa análise estão discutidos subsequentemente.

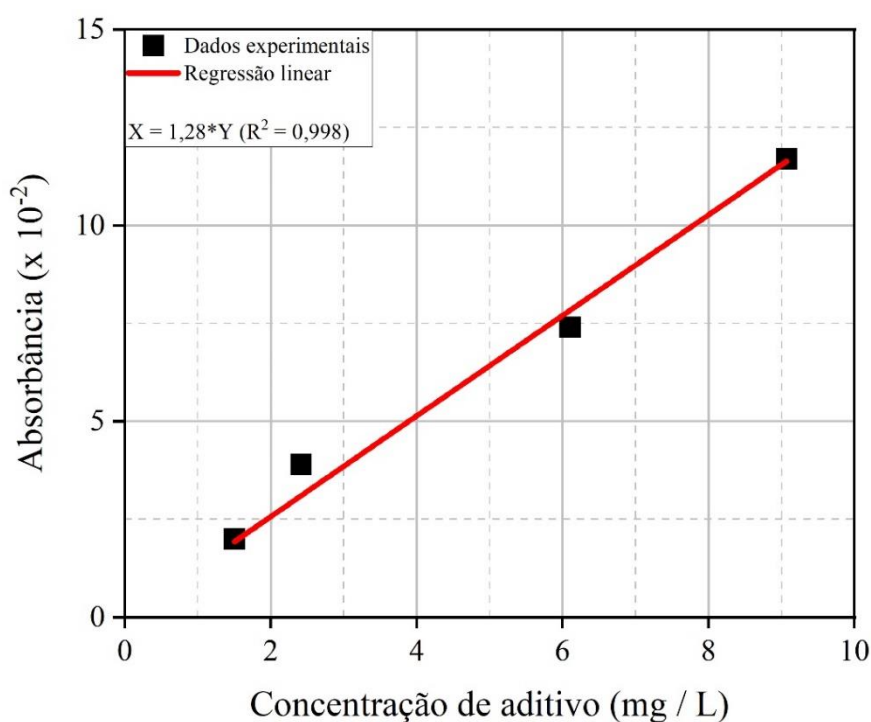


Figura 7 - Curva de calibração da concentração do aditivo em solução aquosa.

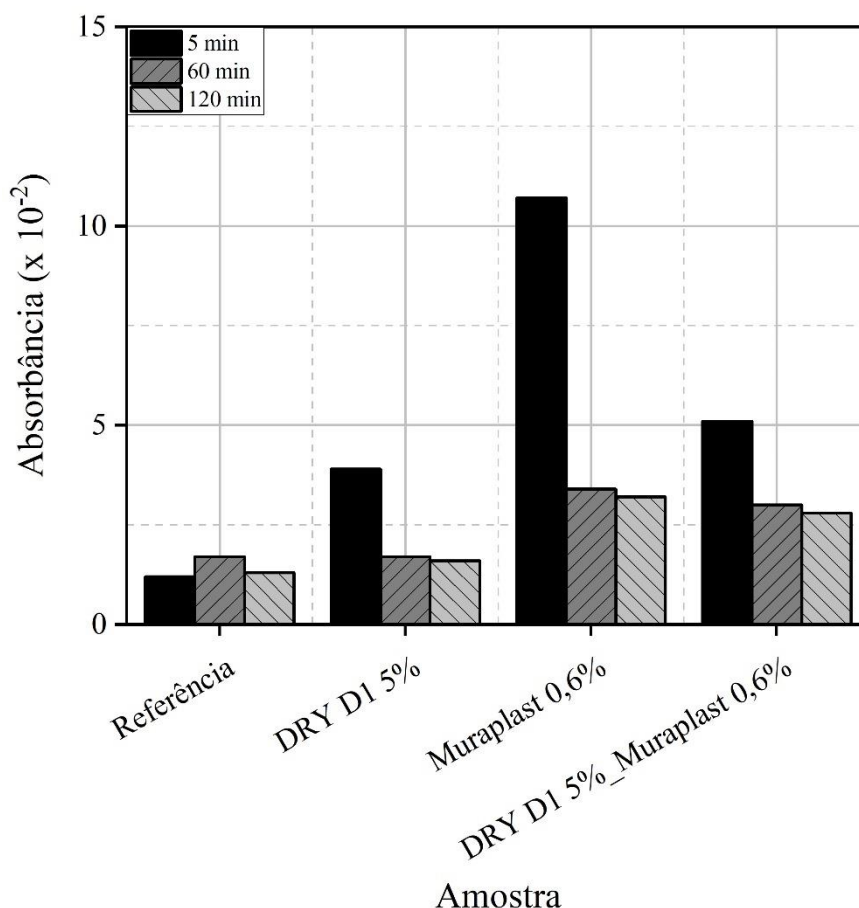


Figura 8 - Resultados de absorvância das soluções extraídas da suspensão de cimento.

A absorvância da solução é diretamente proporcional à quantidade de aditivo dispersante não adsorvida pelas partículas de cimento e de DRY D1. Na Figura 8, pode ser observado que as suspensões que não contêm aditivo (Referência e DRY D1 5%) apresentam os valores mais baixos de absorvância entre as amostras analisadas. Além disso, os valores determinados na amostra referência são praticamente constantes no intervalo de tempo analisado.

Nas amostras contendo o aditivo dispersante (Muraplast 0,6% e DRY D1 5%_Muraplast 0,6%), observa-se que a absorvância inicial aos 5 min depende do uso de DRY D1. O filtrado da suspensão que não contém DRY D1 apresenta maior absorção que os demais filtrados. Isso significa que o cimento é o material que menos adsorve as moléculas do aditivo em sua superfície, resultando em uma maior concentração na fase líquida.

Com o decorrer da hidratação, a superfície das partículas de cimento é modificada pela geração de cristais de etringita e C-S-H. Tais fases tendem a aumentar a superfície da partícula de cimento, pois têm forma acicular. Com isso, a adsorção de aditivo nas partículas de cimento

e na superfície desses hidratos tende a aumentar com o tempo. Tal fato pode ser concluído pela diminuição da absorvência da solução ao longo do tempo, o que significa que uma maior quantidade de moléculas do aditivo foi adsorvida pelas partículas sólidas.

Quando é empregado o DRY D1, pode ser constatado que ocorre adsorção do dispersante nas partículas do óxido de cálcio supercalcinado em preferência às partículas de cimento. É importante salientar que quanto maior a concentração de aditivo não adsorvida, maior tende a ser o retardo na pega da pasta, visto que a atividade da solução aumenta e tende a diminuir a concentração de cálcio dissolvida no meio. Com isso, o DRY D1 pode contribuir para evitar problemas oriundos da incompatibilidade ou do uso incorreto de aditivos dispersantes em concretos.

5. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que:

- Aditivos dispersantes apresentam adsorção preferencial pela superfície das partículas de DRY D1, em relação às partículas de cimento. A afinidade dos dispersantes pelo cimento tende a aumentar com o decorrer da hidratação, devido à geração de fases hidratadas.
- Os aditivos dispersantes promovem retardo na velocidade de ganho de resistência em todas as pastas analisadas. Tal retardo é mais significativo para maiores dosagens de aditivo.
- O uso de DRY D1 contribui para a redução dos efeitos de retardo causados pelos dispersantes. Com isso, pode contribuir para evitar problemas oriundos da incompatibilidade ou do uso incorreto de aditivos dispersantes em concretos.
- O aditivo DRY D1 contribui para melhorar a trabalhabilidade de pastas de cimento, principalmente quando aditivos polifuncionais (eficiência moderada) são utilizados. Além disso, torna a pasta mais coesa, reduzindo riscos relacionados à exsudação e segregação.

Referências bibliográficas

- [1] P.-C. Aitcin, W. Wilson, The Sky's the Limit, *Concr. Int.* 37 (2015) 45–50.
- [2] J. Aldred, Burj Khalifa - A new high for high- Performance concretej, *Proc. Inst. Civ. Eng. Civ. Eng.* 163 (2010) 66–73. <https://doi.org/10.1680/cien.2010.163.2.66>.
- [3] G. Clark, Challenges for concrete in tall buildings, *Struct. Concr.* 15 (2014) 448–453. <https://doi.org/10.1002/suco.201400011>.
- [4] S.H. Kwon, C.K. Park, J.H. Jeong, S.D.J. Jo, S.H. Lee, Prediction of concrete pumping. Part II: Analytical prediction and experimental cerification, *ACI Mater. J.* 110 (2013) 657–668. <https://doi.org/10.14359/51686333>.
- [5] G. Gelardi, R.J. Flatt, Working mechanisms of water reducers and superplasticizers, in: P.-C. Aitcin, R.J. Flatt (Eds.), *Sci. Technol. Concr. Admixtures*, 1st ed., Woodhead Publishing, Cambridge, 2016: pp. 257–278. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100693-1.00011-4>.
- [6] L. Ferrari, J. Kaufmann, F. Winnefeld, J. Plank, Multi-method approach to study influence of superplasticizers on cement suspensions, *Cem. Concr. Res.* 41 (2011) 1058–1066. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.06.010>.
- [7] D. Nagrockiene, I. Pundienė, A. Kicaite, The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties, *Constr. Build. Mater.* 45 (2013) 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.03.076>.
- [8] A. Kalliola, T. Vehmas, T. Liitiä, T. Tamminen, Alkali-O₂ oxidized lignin - A bio-based concrete plasticizer, *Ind. Crops Prod.* 74 (2015) 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.056>.
- [9] T. Aso, K. Koda, S. Kubo, T. Yamada, I. Nakajima, Y. Uraki, Preparation of novel lignin-based cement dispersants from isolated lignins, *J. Wood Chem. Technol.* 33 (2013) 286–298. <https://doi.org/10.1080/02773813.2013.794841>.
- [10] A.F. Battagin, I.L.S. Battagin, O cimento Portland no Brasil, in: G.C. Isaia (Ed.), *Mater. Construção Civ. e Princípios Ciência e Eng. Mater.*, Second, São Paulo, 2010: pp. 761–790.

- [11] R.P. Salvador, S.H.P. Cavalaro, I. Segura, A.D. Figueiredo, J. Pérez, Early age hydration of cement pastes with alkaline and alkali-free accelerators for sprayed concrete, *Constr. Build. Mater.* 111 (2016) 386–398. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.101>.
- [12] H. Minard, S. Garrault, L. Regnaud, A. Nonat, Mechanisms and parameters controlling the tricalcium aluminate reactivity in the presence of gypsum, *Cem. Concr. Res.* 37 (2007) 1418–1426. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.06.001>.
- [13] R.P. Salvador, S.H.P. Cavalaro, M.A. Cincotto, A.D. Figueiredo, Parameters controlling early age hydration of cement pastes containing accelerators for sprayed concrete, *Cem. Concr. Res.* 89 (2016) 230–248. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.101>.
- [14] Instituto Brasileiro de Impermeabilização, Manual de utilização de aditivos químicos para concreto, 2^a ed. São Paulo: Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 2021.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15823-2: Concreto autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- [16] G. Gelardi, R.J. Flatt, Working mechanisms of water reducers and superplasticizers, *Sci. Technol. Concr. Admixtures.* (2015) 257–278. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100693-1.00011-4>.