

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANDRÉA RESENDE SOUZA

**RETRAÇÃO EM CONCRETO AUTOADENSÁVEL: CONTRIBUIÇÃO DE
PRODUTOS MITIGADORES**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2016

ANDRÉA RESENDE SOUZA

**RETRAÇÃO EM CONCRETO AUTOADENSÁVEL: CONTRIBUIÇÃO DE
PRODUTOS MITIGADORES**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Área de Concentração em Materiais e Engenharia de Estruturas, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação do Campus de Pato Branco, UTFPR.

Orientador: Professor Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray.

PATO BRANCO

2016

S729r Souza, Andréa Resende.
Retração em concreto autoadensável: contribuição de produtos
mitigadores / Andréa Resende Souza . -- 2016.
243 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Mário Arlindo Paz Irrigaray
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pato
Branco, PR, 2016.
Bibliografia: f. 174 – 183.

1. Concreto - Aditivos. 2. Concreto auto-compactável. 3. Concreto
- Propriedades Mecânicas. I. Irrigaray, Mário Arlindo Paz, orient. II.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD 22. ed. 624



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO Nº 03

Título da Dissertação

"Retração em concreto autoadensável: Influência de adições mitigadoras"

Autor

Andrea Resende Souza

Esta dissertação foi apresentada às 9 horas do dia 04 de novembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL- Linha de pesquisa em materiais e componentes da construção – no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. A autora foi arguida pela Banca Examinadora abaixo assinada, a qual, após deliberação, considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Mario Arlindo Paz Irrigaray
UTFPR/PB
Presidente

Profa. Dra. Caroline Angulski da Luz
UTFPR/PB
Examinadora

Profa.Dra. Edna Possan
UNILA/FI
Examinadora

Visto da Coordenação

Profa. Dra. Caroline Angulski da Luz
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil - PPGEC

AGRADECIMENTOS

À minha mãe que mesmo não concordando em me deixar fazer um mestrado, esteve presente em todos os momentos, por ter ajudado na parte braçal e trabalhosa da pesquisa, perdendo feriados e fins de semana dentro do laboratório.

Ao Professor Mario Irrigaray, pela dedicação, paciência e competência como orientador. Pelos incentivos, puxões de orelha e discussões filosóficas (técnicas e pessoais). Pelo conhecimento transmitido durante a pesquisa, sem o qual a esse trabalho não seria possível.

À professora Caroline Angulski pelo auxílio na realização de alguns ensaios, esclarecimentos de dúvidas e apoio durante a pesquisa.

Às ex-professoras, hoje mais do que colegas de profissão, amigas, Giovanna pelo incentivo à pesquisa, puxões de orelha e conselhos nos momentos mais críticos, e Ligia pela paciência nos meus dias de estresse e preocupação com a realização do trabalho.

À técnica do laboratório de materiais, Cláudia, por estar sempre disposta a ajudar e pelo auxílio no desenvolvimento das minhas atividades.

Aos amigos e colegas que fiz no laboratório, durante a estadia prolongada ao longo dos meses de mestrado ainda durante a realização das disciplinas, Bruna, Eloise, Maxwell e Silvia. À colega de sala e de desespero na disciplina de Métodos Numéricos e Estatísticos, quase engenheira civil Ediane.

Ao colega Tobias Shimosaka, por dividir dúvidas de estudo, compartilhar resultados e divisão de trabalho durante a dissertação que acredito que sem a sua parceria, assim como a de mamãe, não seria possível realizar os ensaios em tempo hábil.

Ao programa de Demanda Social da CAPES, que tem como intuito promover a formação de recursos humanos de alto nível, por meio de concessão de bolsas a cursos de pós-graduação stricto sensu (mestrado e doutorado).

A ciência nunca resolve um problema sem
criar pelo menos outros dez.

George Bernard Shaw

RESUMO

SOUZA, Andréa Resende. Retração Em Concreto Autoadensável: Contribuição De Produtos Mitigadores. 2016. 243 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Pato Branco, 2016.

O concreto autoadensável (CAA) apresenta-se como o concreto do futuro por aumentar o rendimento e reduzir barulho e risco de acidentes nas obras, além de possibilitar a execução de elementos esbeltos ou com elevada taxa de armadura, além da eliminação do processo de adensamento do concreto. No entanto, por apresentar um alto teor de pasta cimento, e refinamento da rede porosa existe o aumento das forças capilares e, por consequência, elevação das mudanças volumétricas presentes na matriz cimentícias, oriundas do processo de retração por hidratação e de secagem dessa matriz. Desta forma, esse trabalho busca avaliar a eficácia de diferentes soluções mitigadoras de retração (autógena e por secagem), em misturas de CAA, sendo utilizado como adições ao estudo: aditivo redutor de retração (SRA), adição compensadora de retração do tipo-S (CSA), fibra polimérica de polipropileno (FP) e um tipo de polímero superabsorvente a base de poliacrilato de potássio (SAP). Com o objetivo de analisar o desempenho dessas adições foram realizados os ensaios de retração, conforme NM 131 (1997) e avaliação da influência dessas adições nas propriedades no estado fresco e endurecido do CAA. As misturas de CAA foram confeccionadas com três diferentes cimentos (CP V ARI, CP II-Z e CP II-E) em combinação com três teores de SRA (1%, 1,5% e 2%), com três teores de CSA (3%, 5% e 7%), com três teores de FP (0,05%, 0,10% e 0,15%) e com três teores de SPA (0,10%, 0,15% e 0,20%) totalizando 39 amostras. Os resultados de ANOVA mostraram que tanto o tipo de cimento, quanto o tipo da adição influenciam significativamente as propriedades avaliadas nesse estudo, tanto as do estado fresco quanto endurecido. Para mitigar a retração autógena e hidráulica foi verificado a influência do tipo de cimento e adição, onde o emprego de CP II-Z reduz a retração entre os cimentos para as misturas de controle, e a adição de 7% de CSA resultam em menores retrações para todos os concretos. Com os resultados obtidos foi verificado que definir o melhor tipo de adição mitigadora da retração ao CAA é um processo complexo, pois exige, além da análise em laboratório, análise da sua aplicação em campo. Ressalta-se que as adições são, em diferentes proporções, capazes de afetar em diferentes ruas, a retração e as propriedades mecânicas do concreto. Deve-se também ressaltar, que tanto a habilidade passante, quanto a perda de trabalhabilidade, são também afetadas pela escolha do tipo de cimento, tipo de adição e teor empregado. Entretanto, em que pese o fato da ocorrência dessas mudanças, foi possível constatar que os concretos produzidos com cimento CP V ARI e fibra polimérica, nos teores de 0,05%, ou com aditivo compensador de retração, no teor de 7%, apresentam-se como potencialmente aplicáveis em várias utilizações.

Palavras-chave: Concreto Autoadensável. Retração Autógena. Retração por Secagem. Ações Mitigadoras. Propriedades Mecânicas e Reológicas.

ABSTRACT

SOUZA, Andréa Resende. Shrinkage On Self-Compacting Concrete: Effect Of Mitigation Mixtures. 2016. 243 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Pato Branco, 2016.

Self-compacting concrete (CAA) is the concrete of the future for increasing the performance and reducing noise and risk of accidents in the works, besides allowing the execution of slender elements or with a high rate of reinforcement, besides the elimination of the densification process The concrete. However, due to the high content of cement paste and the porous network refinement, there is an increase in the capillary forces and, consequently, increase of the volumetric changes present in the cement matrix, resulting from the retraction process by hydration and drying of the matrix. In this way, this work seeks to evaluate the effectiveness of different retraction mitigation solutions (autogenous and by drying), in CAA mixtures, being used as additions to the study: additive retraction reducer (SRA), compensatory addition of S-type retraction (CSA), polypropylene polymer fiber (FP) and a type of superabsorbent polymer based on potassium polyacrylate (SAP). To analyze the performance of these additions, the retraction tests were performed according to NM 131 (1997) and evaluation of the influence of these additions on the fresh and hardened CAA properties. The CAA mixtures were made with three different cements (CP V ARI, CP II-Z and CP II-E) in combination with three contents of RAS (1%, 1,5% and 2%), with three levels of CSA (3%, 5% and 7%), with three levels of PF (0.05%, 0.10% and 0.15%) and three SPA contents (0.10%, 0.15% and 0.20%) totaling 39 samples. The results of ANOVA showed that both the type of cement and the type of addition significantly influence the properties evaluated in this study, both fresh and hardened. In order to mitigate the autogenous and hydraulic retraction, the influence of cement type and addition was verified, where the use of CP II-Z reduces the retraction between the cements for the control mixtures, and the addition of 7% of CSA results in smaller retractions For all concrete. With the results obtained, it was verified that defining the best type of addition mitigation of retraction to the CAA is a complex process, since it requires, besides the analysis in the laboratory, analysis of its application in the field. It should be noted that the additions are, in different proportions, able to affect in different streets, the retraction and the mechanical properties of the concrete. It should also be noted that both the throughput and the loss of workability are also affected by the choice of cement type, type of addition and content employed. However, in spite of the fact of the occurrence of these changes, it was possible to verify that the concretes produced with cement CP V ARI and polymer fiber, in the contents of 0.05%, or with compensating additive of retraction, in the content of 7%, present Themselves as potentially applicable in various uses.

Keywords: Self-Compacting Concrete. Autogenous Shrinkage. Drying Shrinkage. Mitigation Strategies. Mechanical and Rheological Properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fissuração proveniente da retração por secagem.	26
Figura 2: Relação entre a deformação de retração entre CC e CAD.	27
Figura 3: Comparação dos componentes do CAA e do CC.....	32
Figura 4: Parâmetros reológicos dos concretos.	37
Figura 5: Aparência do concreto durante <i>Slump Flow</i>	39
Figura 6: Aparato para realização do Slump Flow.	40
Figura 7: Aplicabilidade do concreto quanto a sua classificação.	41
Figura 8: Resultado do ensaio do anel-J.	42
Figura 9: Mecanismo de retração total.....	45
Figura 10: Representação esquemática da presença de água na estrutura da pasta de cimento.	48
Figura 11: Processo de retração plástica.....	50
Figura 12: representação esquemática da relação entre a retração química e a retração autógena. (a) sem exsudação. (b) com exsudação.	52
Figura 13: Relação entre perda de massa e retração hidráulica.	55
Figura 14: Irreversibilidade da retração por secagem.....	55
Figura 15: Mecanismo de combate às fissuras de retração plástica com a incorporação de fibra de polipropileno.	62
Figura 16: Morfologia das partículas de SAP por microscópio óptico.....	63
Figura 17: Fluxograma etapa 1.	65
Figura 18: Fluxograma etapa 2.	66
Figura 19: Ensaio estado fresco, etapa 3.	66
Figura 20: Ensaio estado endurecido, etapa 3.	67
Figura 21: Difratoograma CP II-Z 32.	71
Figura 22: Difratoograma CP II-E 32.	72
Figura 23: Difratoograma CP V ARI.....	72
Figura 24: Difratoograma filer calcário.	73
Figura 25: Curva granulométrica dos agregados.	75
Figura 26: Corpos de prova prismáticos para ensaio de retração.	78
Figura 27: Corpos prova armazenados em câmara com temperatura controlada	79
Figura 28: Aparato para análise da perda de água no estado plástico.	80

Figura 29: Calorímetro Calmetrix I-Cal 2000 HPC.....	81
Figura 30: Representação esquemática de curva de fluxo de calor de hidratação e critérios de determinação das variáveis.	81
Figura 31: Ensaio do módulo de elasticidade EMIC DL-3000.....	82
Figura 32: Prisma para avaliação da retração.	82
Figura 33: Comparador mecânico vertical.....	83
Figura 34: Fluxo de calor para determinação do início de pega dos cimentos	86
Figura 35: Perda de massa no estado fresco.	88
Figura 36: Aparência das amostras após o ensaio de perda de massa no estado fresco.	89
Figura 37: Taxa de evaporação durante estado fresco.	90
Figura 38: Influência dos cimentos na perda de massa no estado fresco.....	92
Figura 39: Influência dos cimentos na taxa de evaporação no estado fresco.	92
Figura 40: Influência das adições na mitigação na perda de massa no estado fresco.....	95
Figura 41: Influência das adições na mitigação na taxa de evaporação no estado fresco.	97
Figura 42: Resultados espalhamento para todas as misturas.	99
Figura 43: Perda de trabalhabilidade em 15 minutos de mistura.....	101
Figura 44: Anel-J e diferença do espalhamento em relação ao Slump Flow.....	105
Figura 45: Influência do cimento na trabalhabilidade.	107
Figura 46: Influência do cimento na perda de trabalhabilidade.....	108
Figura 47: Influência do cimento na diferença entre Slump Flow e Anel-J.	108
Figura 48: Influência cimento Anel-J.	109
Figura 49: Influência das adições na trabalhabilidade inicial, 15 minutos de mistura.	111
Figura 50: Influência das adições na trabalhabilidade final, 30 minutos de mistura.	113
Figura 51: Influência das adições na perda de trabalhabilidade.	115
Figura 52: Influência das adições na diferença entre espalhamento e anel-J.	117
Figura 53: Ensaio de resistência à compressão para todas as misturas.	119
Figura 54: Ensaio de módulo de elasticidade para todas as misturas.....	121
Figura 55: Módulo de Elasticidade aos 28 dias pela NBR 6118 e NBR 8522.	122
Figura 56: Influência do cimento na resistência à compressão.....	124
Figura 57: Influência do cimento no módulo de elasticidade.	125
Figura 58: Influência das adições na resistência aos 7 dias.	128
Figura 59: Influência das adições na resistência aos 28 dias.	129
Figura 60: Influência das adições no módulo de elasticidade aos 7 dias.....	132
Figura 61: Influência das adições no módulo de elasticidade aos 28 dias.....	133

Figura 62: Processo de confecção do corpo de prova para retração autóloga.....	134
Figura 63: Resultados retração autóloga aos 28 dias.	136
Figura 64: Retração autóloga aos 28 dias para os diferentes cimentos.	137
Figura 65: Evolução da retração autóloga para o cimento CPV ARI.	138
Figura 66: Evolução da retração autóloga para o cimento CP II-Z.....	138
Figura 67: Evolução da retração autóloga para o cimento CP II-E.....	139
Figura 68: Evolução da retração autóloga para o redutor de retração (SRA).	139
Figura 69: Evolução da retração autóloga para o compensador de retração (CSA).	140
Figura 70: Evolução da retração autóloga para a fibra polimérica (FP).	140
Figura 71: Evolução da retração autóloga para o polímero superabsorvente (SAP).	141
Figura 72: Influência das adições na retração autóloga aos 28 dias.....	143
Figura 73: Processo de confecção do corpo de prova para retração hidráulica.	144
Figura 74: Resultados hidráulica aos 28 dias.....	146
Figura 75: Retração hidráulica aos 28 dias para os diferentes cimentos.	147
Figura 76: Evolução da retração hidráulica para o cimento CP V ARI.....	148
Figura 77: Evolução da retração hidráulica para o cimento CP II-Z.	148
Figura 78: Evolução da retração hidráulica para o cimento CP II-E.	149
Figura 79: Evolução da retração hidráulica para redutor de retração (SRA).....	149
Figura 80: Evolução da retração hidráulica para compensador de retração (CSA).	150
Figura 81: Evolução da retração hidráulica para fibra polimérica (FP).....	151
Figura 82: Evolução da retração hidráulica para o polímero superabsorvente (SAP).	151
Figura 83: Retração hidráulica aos 28 dias para as diferentes adições.	152
Figura 84: Perda de massa na retração hidráulica.....	155
Figura 85: Influência do tipo de cimento na perda de massa hidráulica.....	156
Figura 86: Evolução perda de massa para o cimento CP V ARI.	157
Figura 87: Evolução perda de massa para o cimento CP II-Z.	157
Figura 88: Evolução perda de massa para o cimento CP II-E.	158
Figura 89: Evolução perda de massa para o redutor de retração (SRA).....	158
Figura 90: Evolução perda de massa para o compensador de retração (CSA).	159
Figura 91: Evolução perda de massa para a fibra polimérica (FB).....	160
Figura 92: Evolução perda de massa para polímero superabsorvente (SAP).	160
Figura 93: Influência das adições na perda de massa hidráulica aos 28 dias.	161
Figura 94: Perda de massa no estado fresco ao longo do tempo diferentes cimentos.	186
Figura 95: Perda de massa no estado fresco ao longo do tempo redutor de retração (SRA).	187

Figura 96: Perda de massa no estado fresco ao longo do tempo compensador de retração (CSA).....	187
Figura 97: Perda de massa no estado fresco ao longo do tempo fibra polimérica (FP).....	188
Figura 98: Perda de massa no estado fresco ao longo do tempo polímero superabsorvente (SAP).....	188
Figura 99: Retrações mistura 1C0D0T.....	209
Figura 100: Retrações mistura 1C1D1T.....	209
Figura 101: Retrações mistura 1C1D3T.....	209
Figura 102: Retrações mistura 1C1D2T.....	210
Figura 103: Retrações mistura 1C2D1T.....	210
Figura 104: Retrações mistura 1C2D3T.....	210
Figura 105: Retrações mistura 1C2D2T.....	210
Figura 106: Retrações mistura 1C3D1T.....	211
Figura 107: Retrações mistura 1C3D3T.....	211
Figura 108: Retrações mistura 1C3D2T.....	211
Figura 109: Retrações mistura 1C4D1T.....	211
Figura 110: Retrações mistura 1C4D3T.....	212
Figura 111: Retrações mistura 1C4D2T.....	212
Figura 112: Retrações mistura 2C0D0T.....	219
Figura 113: Retrações mistura 2C1D1T.....	219
Figura 114: Retrações mistura 2C1D3T.....	219
Figura 115: Retrações mistura 2C1D2T.....	220
Figura 116: Retrações mistura 2C2D1T.....	220
Figura 117: Retrações mistura 2C2D3T.....	220
Figura 118: Retrações mistura 2C2D2T.....	220
Figura 119: Retrações mistura 2C3D1T.....	221
Figura 120: Retrações mistura 2C3D3T.....	221
Figura 121: Retrações mistura 2C3D2T.....	221
Figura 122: Retrações mistura 2C4D1T.....	221
Figura 123: Retrações mistura 2C4D3T.....	222
Figura 124: Retrações mistura 2C4D2T.....	222
Figura 125: Retrações mistura 3C0D0T.....	229
Figura 126: Retrações mistura 3C1D1T.....	229
Figura 127: Retrações mistura 3C1D3T.....	229

Figura 128: Retrações mistura 3C1D2T.....	230
Figura 129: Retrações mistura 3C2D1T.....	230
Figura 130: Retrações mistura 3C2D3T.....	230
Figura 131: Retrações mistura 3C2D2T.....	230
Figura 132: Retrações mistura 3C3D1T.....	231
Figura 133: Retrações mistura 3C3D3T.....	231
Figura 134: Retrações mistura 3C3D2T.....	231
Figura 135: Retrações mistura 3C4D1T.....	231
Figura 136: Retrações mistura 3C4D3T.....	232
Figura 137: Retrações mistura 3C4D2T.....	232

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Métodos de ensaio para o CAA.....	38
Tabela 2: Classificação quanto viscosidade e fluidez.....	40
Tabela 3: Aplicabilidade do concreto quanto a sua classificação de fluidez e viscosidade. ...	41
Tabela 4: Classificação quanto a habilidade passante.	42
Tabela 5: Aplicabilidade do concreto quanto a sua classificação de habilidade passante.....	42
Tabela 6: Características dos cimentos utilizados.	70
Tabela 7: Características químicas dos cimentos utilizados.....	70
Tabela 8: Composição do clínquer dos cimentos utilizados, com base em Bogue.....	71
Tabela 9: Características físico-químicas do filer calcário.....	73
Tabela 10: Caracterização dos agregados.....	74
Tabela 11: Caracterização do aditivo superplastificante.	75
Tabela 12: Caracterização adições mitigadoras.....	76
Tabela 13: Traço de CAA utilizado.....	76
Tabela 14: Traços para o redutor de retração.....	76
Tabela 15: Traços para o compensador de retração.....	77
Tabela 16: Traços para a fibra polimérica.	77
Tabela 17: Traços para o polímero superabsorvente.....	77
Tabela 18: Procedimento de mistura do concreto.....	78
Tabela 19: Normalização das variáveis independentes.....	84
Tabela 20: Normalização das variáveis respostas.....	85
Tabela 21: Classificação do CAA conforme espalhamento (mm).....	98
Tabela 22: Classificação da habilidade passante utilizando Método Anel-J.....	104
Tabela 23: Resultados Slump Flow e Anel-J.....	184
Tabela 24: Resultados perda de massa e taxa de evaporação.....	185
Tabela 25: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C0D0T.....	189
Tabela 26: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C1D1T.....	189
Tabela 27: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C1D3T.....	189
Tabela 28: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C1D2T.....	190
Tabela 29: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C2D1T.....	190
Tabela 30: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C2D3T.....	190
Tabela 31: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C2D2T.....	191

Tabela 32: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C3D1T.....	191
Tabela 33: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C3D3T.....	191
Tabela 34: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C3D2T.....	192
Tabela 35: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C4D1T.....	192
Tabela 36: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C4D3T.....	193
Tabela 37: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C4D2T.....	193
Tabela 38: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C0D0T.....	193
Tabela 39: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C1D1T.....	194
Tabela 40: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C1D3T.....	194
Tabela 41: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C1D2T.....	194
Tabela 42: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C2D1T.....	195
Tabela 43: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C2D3T.....	195
Tabela 44: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C2D2T.....	195
Tabela 45: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C3D1T.....	196
Tabela 46: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C3D3T.....	196
Tabela 47: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C3D2T.....	196
Tabela 48: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C4D1T.....	197
Tabela 49: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C4D3T.....	197
Tabela 50: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C4D2T.....	197
Tabela 51: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C0D0T.....	198
Tabela 52: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C1D1T.....	198
Tabela 53: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C1D3T.....	198
Tabela 54: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C1D2T.....	199
Tabela 55: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C2D1T.....	199
Tabela 56: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C2D3T.....	199
Tabela 57: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C2D2T.....	200
Tabela 58: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C3D1T.....	200
Tabela 59: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C3D3T.....	200
Tabela 60: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C3D2T.....	201
Tabela 61: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C4D1T.....	201
Tabela 62: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C4D3T.....	201
Tabela 63: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C4D2T.....	202
Tabela 64: Resultado leituras retração mistura 1C0D0T.....	203
Tabela 65: Resultado leituras retração mistura 1C1D1T.....	203

Tabela 66: Resultado leituras retração mistura 1C1D3T.....	204
Tabela 67: Resultado leituras retração mistura 1C1D2T.....	204
Tabela 68: Resultado leituras retração mistura 1C2D1T.....	204
Tabela 69: Resultado leituras retração mistura 1C2D3T.....	205
Tabela 70: Resultado leituras retração mistura 1C2D2T.....	205
Tabela 71: Resultado leituras retração mistura 1C3D1T.....	206
Tabela 72: Resultado leituras retração mistura 1C3D3T.....	206
Tabela 73: Resultado leituras retração mistura 1C3D2T.....	206
Tabela 74: Resultado leituras retração mistura 1C4D1T.....	207
Tabela 75: Resultado leituras retração mistura 1C4D3T.....	207
Tabela 76: Resultado leituras retração mistura 1C4D2T.....	208
Tabela 77: Resultado leituras retração mistura 2C0D0T.....	213
Tabela 78: Resultado leituras retração mistura 2C1D1T.....	213
Tabela 79: Resultado leituras retração mistura 2C1D3T.....	213
Tabela 80: Resultado leituras retração mistura 2C1D2T.....	214
Tabela 81: Resultado leituras retração mistura 2C2D1T.....	214
Tabela 82: Resultado leituras retração mistura 2C2D3T.....	215
Tabela 83: Resultado leituras retração mistura 2C2D2T.....	215
Tabela 84: Resultado leituras retração mistura 2C3D1T.....	215
Tabela 85: Resultado leituras retração mistura 2C3D3T.....	216
Tabela 86: Resultado leituras retração mistura 2C3D2T.....	216
Tabela 87: Resultado leituras retração mistura 2C4D1T.....	217
Tabela 88: Resultado leituras retração mistura 2C4D3T.....	217
Tabela 89: Resultado leituras retração mistura 2C4D2T.....	217
Tabela 90: Resultado leituras retração mistura 3C0D0T.....	223
Tabela 91: Resultado leituras retração mistura 3C1D1T.....	223
Tabela 92: Resultado leituras retração mistura 3C1D3T.....	223
Tabela 93: Resultado leituras retração mistura 3C1D2T.....	224
Tabela 94: Resultado leituras retração mistura 3C2D1T.....	224
Tabela 95: Resultado leituras retração mistura 3C2D3T.....	225
Tabela 96: Resultado leituras retração mistura 3C2D2T.....	225
Tabela 97: Resultado leituras retração mistura 3C3D1T.....	225
Tabela 98: Resultado leituras retração mistura 3C3D3T.....	226
Tabela 99: Resultado leituras retração mistura 3C3D2T.....	226

Tabela 100: Resultado leituras retração mistura 3C4D1T.....	227
Tabela 101: Resultado leituras retração mistura 3C4D3T.....	227
Tabela 102: Resultado leituras retração mistura 3C4D2T.....	227
Tabela 103: ANOVA interação tripla para perda de massa no estado fresco, com nível de significância de 5%.....	233
Tabela 104: ANOVA interação dupla para perda de massa no estado fresco, com nível de significância de 5%.....	233
Tabela 105: ANOVA interação simples para perda de massa no estado fresco, com nível de significância de 5%.....	233
Tabela 106: ANOVA interação tripla para taxa de evaporação no estado fresco, com nível de significância de 5%.....	234
Tabela 107: ANOVA interação dupla para taxa de evaporação no estado fresco, com nível de significância de 5%.....	234
Tabela 108: ANOVA interação simples para taxa de evaporação no estado fresco, com nível de significância de 5%.....	234
Tabela 109: ANOVA interação tripla slump Flow 15 minutos, com nível de significância de 5%.....	234
Tabela 110: ANOVA interação dupla slump Flow 15 minutos, com nível de significância de 5%.....	235
Tabela 111: ANOVA interação simples Slump Flow 15 minutos, com nível de significância de 5%.....	235
Tabela 112: ANOVA interação tripla slump Flow 30 minutos, com nível de significância de 5%.....	235
Tabela 113: ANOVA interação dupla slump Flow 30 minutos, com nível de significância de 5%.....	235
Tabela 114: ANOVA interação simples slump Flow 30 minutos, com nível de significância de 5%.....	236
Tabela 115: ANOVA interação tripla perda de trabalhabilidade, com nível de significância de 5%.....	236
Tabela 116: ANOVA interação dupla perda de trabalhabilidade, com nível de significância de 5%.....	236
Tabela 117: ANOVA interação simples perda de trabalhabilidade, com nível de significância de 5%.....	236
Tabela 118: ANOVA interação tripla anel-J, com nível de significância de 5%.....	237

Tabela 119: ANOVA interação dupla anel-J, com nível de significância de 5%.....	237
Tabela 120: ANOVA interação simples anel-J, com nível de significância de 5%.	237
Tabela 121: ANOVA interação tripla diferença slump e anel-J, com nível de significância de 5%.	237
Tabela 122: ANOVA interação dupla diferença slump e anel-J, com nível de significância de 5%.	237
Tabela 123: ANOVA interação simples diferença slump e anel-J, com nível de significância de 5%.	238
Tabela 124: ANOVA interação tripla resistência á compressão aos 7 dias, com nível de significância de 5%.	238
Tabela 125: ANOVA interação dupla resistência á compressão aos 7 dias, com nível de significância de 5%.	238
Tabela 126: ANOVA interação simples resistência á compressão aos 7 dias, com nível de significância de 5%.	238
Tabela 127: ANOVA interação tripla resistência á compressão aos 28 dias, com nível de significância de 5%.	239
Tabela 128: ANOVA interação dupla resistência á compressão aos 28 dias, com nível de significância de 5%.	239
Tabela 129: ANOVA interação simples resistência á compressão aos 28 dias, com nível de significância de 5%.	239
Tabela 130: ANOVA interação tripla módulo de elasticidade aos 7 dias, com nível de significância de 5%.	239
Tabela 131: ANOVA interação dupla módulo de elasticidade aos 7 dias, com nível de significância de 5%.	240
Tabela 132: ANOVA interação simples módulo de elasticidade aos 7 dias, com nível de significância de 5%.	240
Tabela 133: ANOVA interação tripla módulo de elasticidade aos 28 dias, com nível de significância de 5%.	240
Tabela 134: ANOVA interação dupla módulo de elasticidade aos 28 dias, com nível de significância de 5%.	240
Tabela 135: ANOVA interação simples módulo de elasticidade aos 28 dias, com nível de significância de 5%.	241
Tabela 136: ANOVA interação tripla retração autógena aos 28 dias, com nível de significância de 10%.	241

Tabela 137: ANOVA interação dupla retração autógena aos 28 dias, com nível de significância de 10%.....	241
Tabela 138: ANOVA interação simples retração autógena aos 28 dias, com nível de significância de 10%.....	241
Tabela 139: ANOVA interação tripla retração hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 10%.....	242
Tabela 140: ANOVA interação dupla retração hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 10%.....	242
Tabela 141: ANOVA interação simples retração hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 10%.....	242
Tabela 142: ANOVA interação tripla perda de massa hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 5%.....	242
Tabela 143: ANOVA interação dupla perda de massa hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 5%.....	243
Tabela 144: ANOVA interação simples perda de massa hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 5%.....	243

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1C0D0T	Amostra de Controle CP V ARI
1C1D1T	Amostra Concreto – CP V ARI x Redutor de Retração x 1,0%
1C1D2T	Amostra Concreto – CP V ARI x Redutor de Retração x 2,0%
1C1D3T	Amostra Concreto – CP V ARI x Redutor de Retração x 1,5%
1C2D1T	Amostra Concreto – CP V ARI x Compensador de Retração x 3,0%
1C2D2T	Amostra Concreto – CP V ARI x Compensador de Retração x 7,0%
1C2D3T	Amostra Concreto – CP V ARI x Compensador de Retração x 5,0%
1C3D1T	Amostra Concreto – CP V ARI x Fibra Polimérica x 0,05%
1C3D2T	Amostra Concreto – CP V ARI x Fibra Polimérica x 0,15%
1C3D3T	Amostra Concreto – CP V ARI x Fibra Polimérica x 0,10%
1C4D1T	Amostra Concreto – CP V ARI x Polímero Superabsorvente x 0,10%
1C4D2T	Amostra Concreto – CP V ARI x Polímero Superabsorvente x 0,20%
1C4D3T	Amostra Concreto – CP V ARI x Polímero Superabsorvente x 0,15%
2C0D0T	Amostra de Controle CP II-Z 32
2C1D1T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Redutor de Retração x 1,0%
2C1D2T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Redutor de Retração x 2,0%
2C1D3T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Redutor de Retração x 1,5%
2C2D1T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Compensador de Retração x 3,0%
2C2D2T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Compensador de Retração x 7,0%
2C2D3T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Compensador de Retração x 5,0%
2C3D1T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Fibra Polimérica x 0,05%
2C3D2T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Fibra Polimérica x 0,15%
2C3D3T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Fibra Polimérica x 0,10%
2C4D1T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Polímero Superabsorvente x 0,10%
2C4D2T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Polímero Superabsorvente x 0,20%
2C4D3T	Amostra Concreto – CP II-Z 32 x Polímero Superabsorvente x 0,15%
3C0D0T	Amostra de Controle CP II-E 32
3C1D1T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Redutor de Retração x 1,0%
3C1D2T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Redutor de Retração x 2,0%
3C1D3T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Redutor de Retração x 1,5%
3C2D1T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Compensador de Retração x 3,0%

3C2D2T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Compensador de Retração x 7,0%
3C2D3T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Compensador de Retração x 5,0%
3C3D1T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Fibra Polimérica x 0,05%
3C3D2T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Fibra Polimérica x 0,15%
3C3D3T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Fibra Polimérica x 0,10%
3C4D1T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Polímero Superabsorvente x 0,10%
3C4D2T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Polímero Superabsorvente x 0,20%
3C4D3T	Amostra Concreto – CP II-E 32 x Polímero Superabsorvente x 0,15%
A/F	Relação Água Materiais Finos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ANOVA	Análise de Variância Amostral
C-S-H	Silicato de Cálcio
C ₃ A	Aluminato Tricálcico
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
CAA	Concreto Auto Adensável
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CAR	Concreto de Alta Resistência
CC	Concreto Comum
cm	Centímetro
CP II-E 32	Cimento Portland Composto com Escória
CP II-Z 32	Cimento Portland Composto com Pozolana
CP V ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CSA	Aditivo Compensador de Retração
CV	Concreto Convencional
EFNARC	European Federation of National Associations Representing for Concrete
FP	Fibra Polimérica
MVA	Modificadores de Viscosidade
NBR	Norma Regulamentadora Brasileira
NM	Norma Regulamentadora Mercosul
NRMCA	National Ready Mixed Concrete Association
PJ	Habilidade Passante do Concreto Auto Adensável
PR	Paraná
SAP	Polímero superabsorvente

SF	Espalhamento Final do Concreto Auto Adensável
SP	Superplastificante
SRA	Aditivo Redutor de Retração
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VS	Viscosidade Final do Concreto Auto Adensável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	JUSTIFICATIVA	28
1.2	OBJETIVO GERAL	29
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	30
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	31
2.1	CONCRETO AUTOADENSÁVEL.....	31
2.1.1	<i>Materiais Constituintes Básicos</i>	<i>33</i>
2.1.2	<i>Propriedades Estado Fresco.....</i>	<i>37</i>
2.1.3	<i>Propriedades Estado Endurecido.....</i>	<i>43</i>
2.2	VARIAÇÕES VOLUMÉTRICAS NO CONCRETO	44
2.2.1	<i>Movimentação de Água.....</i>	<i>47</i>
2.2.2	<i>Retração Plástica.....</i>	<i>49</i>
2.2.3	<i>Retração Autógena.....</i>	<i>51</i>
2.2.4	<i>Retração por Secagem ou Retração Hidráulica.....</i>	<i>54</i>
2.2.5	<i>Retração Térmica.....</i>	<i>56</i>
2.2.6	<i>Retração Por Carbonatação.....</i>	<i>57</i>
2.3	SOLUÇÕES MITIGADORAS.....	57
2.3.1	<i>Ativo Redutor de Retração (SRA)</i>	<i>58</i>
2.3.2	<i>Aditivo Compensador de Retração</i>	<i>59</i>
2.3.3	<i>Fibra Polimérica.....</i>	<i>61</i>
2.3.4	<i>Polímeros Superabsorventes.....</i>	<i>62</i>
3	MATERIAIS E MÉTODOS	65
3.1	VARIÁVEIS DE ESTUDO	67
3.2	MATERIAIS.....	69
3.2.1	<i>Cimentos</i>	<i>69</i>
3.2.2	<i>Adição Minerais.....</i>	<i>72</i>
3.2.3	<i>Agregados</i>	<i>74</i>
3.2.4	<i>Aditivo</i>	<i>75</i>
3.2.5	<i>Adições Mitigadoras</i>	<i>76</i>
3.3	MÉTODOS	76
3.3.1	<i>Procedimento de Mistura e Moldagem.....</i>	<i>77</i>
3.3.2	<i>Condição de Cura.....</i>	<i>79</i>
3.3.3	<i>Ensaio no Estado Fresco.....</i>	<i>79</i>
3.3.4	<i>Ensaio no Estado Endurecido</i>	<i>81</i>
3.4	PLANO AMOSTRAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	84
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	86
4.1	CALORIMETRIA	86
4.2	PERDA DE MASSA E TAXA DE EVAPORAÇÃO	87
4.2.1	<i>Influência dos Cimentos.....</i>	<i>91</i>
4.2.2	<i>Influência das Adições</i>	<i>93</i>
4.3	PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	98
4.3.1	<i>Influência do Cimento.....</i>	<i>106</i>
4.3.2	<i>Influência das Adições</i>	<i>109</i>
4.4	PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO	118
4.4.1	<i>Influência do Cimento.....</i>	<i>123</i>

4.4.2	<i>Influência das Adições</i>	125
4.5	RETRAÇÕES E PERDA DE MASSA	134
4.5.1	<i>Retração Autógena</i>	134
4.5.2	<i>Retração Hidráulica</i>	144
4.5.3	<i>Perda de Massa na Retração Hidráulica</i>	154
4.5.4	<i>Influência das Adições</i>	158
5	SÍNTESE DOS RESULTADOS	163
5.1	PERDA DE MASSA NO ESTADO FRESCO.....	163
5.2	TAXA DE EVAPORAÇÃO.....	164
5.3	PERDA DE TRABALHABILIDADE	165
5.4	HABILIDADE PASSANTE.....	166
5.5	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	166
5.6	MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	167
5.7	RETRAÇÃO AUTÓGENA.....	168
5.8	RETRAÇÃO HIDRÁULICA	169
5.9	PERDA DE MASSA	170
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	172
	REFERÊNCIAS	174
	APÊNDICE A RESULTADOS ENSAIOS ESTADO FRESCO	184
	ESPALHAMENTO (SLUMP FLOW) E HABILIDADE PASSANTE (ANEL-J)	184
	PERDA DE MASSA E TAXA DE EVAPORAÇÃO	185
	APÊNDICE B RESULTADOS ENSAIOS ENDURECIDO	189
	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE	189
	APÊNDICE C RESULTADOS RETRAÇÃO	203
	RETRAÇÃO E PERDA DE MASSA	203
	APÊNDICE D TABELAS DE ANÁLISES DE VARIÂNCIA	233
	PERDA DE MASSA NO ESTADO FRESCO.....	233
	TAXA DE EVAPORAÇÃO.....	234
	ESPALHAMENTO (SLUMP FLOW)	234
	PERDA DE TRABALHABILIDADE	236
	HABILIDADE PASSANTE (ANEL-J)	237
	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	238
	MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	239
	RETRAÇÃO AUTÓGENA.....	241
	RETRAÇÃO HIDRÁULICA	242
	PERDA DE MASSA NA RETRAÇÃO	242

1 INTRODUÇÃO

É notório o alto consumo mundial do concreto, nas suas mais variáveis aplicações, sendo como concreto comum, ou como concreto de autodesempenho. No entanto, com a onda verde e busca por materiais sustentáveis e de melhor performance, houve o enaltecimento da sua aplicação devido as características de baixa energia de produção, possibilidade de produção no local de aplicação, versatilidade, elevado albedo (reflexão da radiação solar em relação a radiação recebida), baixa necessidade de manutenção e elevada durabilidade (National Ready Mixed Concrete Association, 2012).

Segundo Neville (2006), o consumo de concreto, tende a aumentar devido ao desenvolvimento de novas técnicas de aplicação, tais como o concreto autoadensável (CAA), todavia se faz necessário aprimorar a prática e estudos como medição e controle da umidade dos agregados, forma confiável de garantir a cura adequada das estruturas, e formas de medir as propriedades de durabilidade e manutenção da trabalhabilidade dos concretos de autodesempenho. Portanto, se faz de grande importância avaliar a influência e a dosagem dos aditivos e adições na busca do concreto autoadensável, uma vez que quaisquer mudanças nesses insumos irão impactar significativamente nas propriedades do concreto autoadensável (FARIA, 2016).

Atualmente as pesquisas na área de concreto destinam a utilização de novos materiais, manutenção da durabilidade e da garantia das propriedades de concretos de alto desempenho (CAD). O termo CAD, utilizado com frequência como sinônimo de concreto especial, representa concretos com características específicas para uma determinada aplicação. Podendo-se incluir as características de: elevada resistência à compressão; elevação da resistência em idades iniciais, controle da expansibilidade térmica, baixo calor de hidratação do cimento, determinação do módulo de elasticidade, e controle de fissuras e retração; durabilidade quanto a ciclos de gelo e degelo e resistência a agentes agressivos (MEHTA e MONTEIRO, 2014; NEVILLE, 2006).

São considerados concretos de autodesempenho, misturas de concreto comum (CC) incorporadas com aditivos, adições minerais, pigmentos e fibras ou que se valham de técnicas de execução diferenciadas como cura a alta temperatura e pressões. Como exemplo de CAD tem-se o concreto de alta resistência inicial, concreto estrutural leve, o concreto autoadensável, concretos com retrações compensadas, concreto reforçado com fibras, concreto polimérico,

concreto projetado, concreto drenantes, concreto massa, concreto compactado a rolo, entre outros (TUTIKIAN, ISAIA e HELENE, 2011).

A utilização e especificação dos CAD pelos engenheiros, principalmente os concretos autoadensável (CAA) e de alta resistência (CAR), vem ganhando espaço em obras no Brasil, em destaque tem-se o uso do CAR com 125 MPa de resistência aos 28 dias em 5 pilares do edifício e-Tower em São Paulo, sendo considerado um recorde mundial. Em aplicações que se utilizou CAA, destacam-se a concretagem das lajes do fundo dos poços do metro da Linha 4 em São Paulo, em lajes de edifícios no Rio Grande do Sul, e ainda a utilização de um volume de 3.000 metros cúbicos para reforço de fundações e pilares na ampliação de um shopping em Goiânia-GO. Outro fato que impulsiona o uso de CAA é a crescente aplicação do método de estruturas autoportantes, devido a sua geometria, baixa espessura e alta densidade de armadura e obstáculos dentro da fôrma, como instalações elétricas e hidráulicas (FARIA, 2008; LOTURCO, 2005; HELENE e HARTMANN, 2003).

Com a crescente utilização do CAA faz-se necessário adotar procedimentos capazes de garantirem o desempenho das estruturas, principalmente aqueles que minimizem a fissuração do concreto, pois sabe-se que as fissuras propiciam a entrada de gases, vapores e soluções e, potencializam o surgimento de várias patologias no concreto, como criptoflorescências e corrosão. Quanto ao processo de fissuração do concreto, tem-se que a ideia mais aceita do surgimento da patologia é o surgimento de tensões internas de tração no concreto, Figura 1. O processo de deformação e fissuração do concreto ao longo da sua vida útil, sem que haja alterações de solicitações mecânicas externas, são decorrentes dos processos de retrações e de fluência.

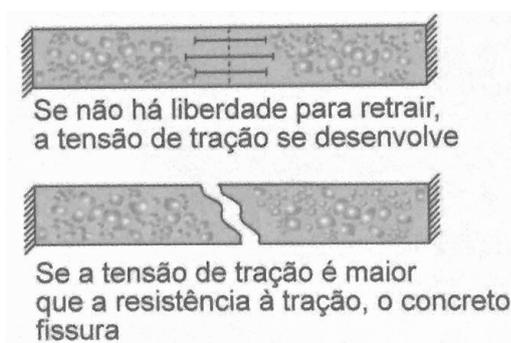


Figura 1: Fissuração proveniente da retração por secagem.

Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

Os concretos de autodesempenho, apresentam uma maior suscetibilidade em apresentar deformações de retração e fluência, e conseqüentemente perda de desempenho e durabilidade, a Figura 2, destaca a diferença entre o comportamento das deformações entre os

concretos convencionais e de autodesempenho para diferentes tipos de umidade relativa. Verifica-se que para umidade relativa superior a 75% o CAD apresenta maior deformação inicial que o CC, no entanto em ambientes com umidade inferior à 75%, condição da maioria das cidades brasileira, a taxa de deformação do CAD torna-se expressivamente maior que para concretos convencionais. A deformação excessiva do CAD nessas condições está relacionada as variações das depressões capilares, sendo que em concretos de autodesempenho, devido a redução dos vazios e do tamanho dos poros, essas variações são mais significativas do que em concretos convencionais. Dessa forma se faz necessário e importante o estudo dessas propriedades quando da aplicação de CAD's.

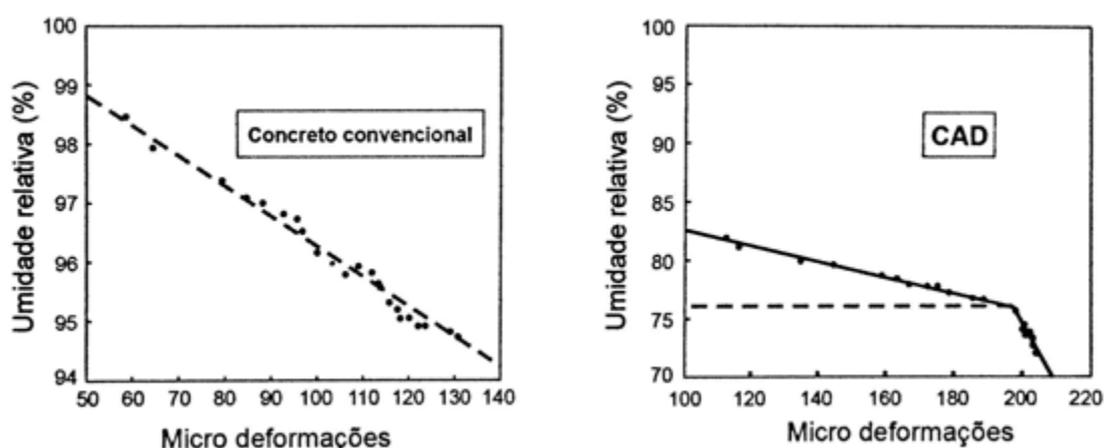


Figura 2: Relação entre a deformação de retração entre CC e CAD.

Fonte: Baroghel-Bouny¹ (1994 *apud* Pons e Torrenti, 2014).

O processo de retração e fluência são considerados processos de deformações lentas do concreto, e por essa razão é de fundamental importância para a manutenção da durabilidade das estruturas ao longo da vida útil da edificação. Caracterizam-se como retrações, as deformações provenientes da ausência de carregamento externo, como às decorrentes da interferência da umidade e da temperatura no concreto, e como fluência deformações causadas por um carregamento externo (NEVILLE e BROOKS, 2010).

As variações das depressões capilares, resultantes dos processos de absorção e adsorção da água pelo concreto, resultam em diferentes tipos de retrações, sendo essas retrações capazes de gerar fissuras e desencadarem o processo de deterioração do concreto. Constituísssem como reações deletérias decorrentes da presença de água no interior do concreto as retrações: plástica, autógena e por secagem ou hidráulica.

¹ BAROGHEL-BOUNY, V.. Caractérisation microstructurale et hydrique des pâtes de ciment et des bétons liqes, IN: l'ENPC, 1992.

Diversos estudos como os preconizados por Craeye e Schutter (2006), D'Ambrosia, Lange e Brinks (2005), Ferraz (2009), Khalairallah (2000), Lopes (2011), entre outros, visam correlacionar os mecanismos de transporte da água com a composição do concreto, em relação ao tipo de cimento e agregados empregados, de forma a melhorar o entendimento do processo de retração. Esses mesmos estudos preconizam, também, a utilização de medidas mitigadoras das retrações, quando não da possibilidade de alteração da composição dos concretos.

As medidas mitigadoras de retração mais empregadas, além do próprio processo de cura, estão relacionadas a utilização de aditivos e adições ao concreto, sendo esses aditivos e adições responsáveis pela alteração da interação química e física da água com os materiais cimentícios. As soluções mais empregadas são materiais poliméricos na forma de fibras ou polímeros absorventes, aditivos e adições a base de alumínio, entre outros.

Esse trabalho tem como objetivo analisar o desempenho de aditivos e adições empregadas para mitigar a retração em CAA, e sugerir procedimentos de dosagem que reduzam as consequências da ausência de cura desses concretos, tais como os concretos empregados na confecção de pisos e/ou paredes autoportantes.

1.1 JUSTIFICATIVA

O uso de aditivos e adições aos concretos possibilitou os avanços promovidos pela construção de estruturas de concreto nos últimos anos, promovendo a possibilidade de fabricar os concretos especiais, principalmente o concreto autoadensável (NAKAMURA, 2014).

Considera-se como autoadensável (CAA) qualquer concreto que apresente elevada fluidez e estabilidade, sendo mensurado a capacidade de resistir a segregação, habilidade de preenchimento dos poros (*filling ability*) e de passar por restrições (*passing ability*) (EFNARC, 2002), essas propriedades são atingidas com a dosagem correta entre os componentes usuais do concreto convencional (cimento, agregados e água) com as adições manuais e aditivos redutores de água ou modificadores de viscosidade.

A maioria dos métodos de dosagem para o concreto auto adensável apresentados na literatura, são baseados em suas propriedades do estado fresco, de forma que, propriedades mecânicas, como sua resistência à compressão são obtidas em consequência do proporcionamento dos materiais. Isso se deve à grande quantidade de finos que irá ser empregada, bem como à baixa relação água/finos definida em função das características de deformabilidade e estabilidade da pasta, sendo necessário estudos que analise o comportamento dos CAA também no estado endurecido (FERRAZ 2009).

O CAA diferencia-se do concreto convencional (CC) devido as suas propriedades no estado fresco, principalmente a capacidade de escamento, já as suas propriedades no estado endurecido, de resistência mecânica, módulo de elasticidade, retração e fluência consideradas similares ao CC. Com relação à constituição do concreto, o CAA, apresenta uma maior quantidade de argamassa o que tende a aumentar a fluência e retração, por outro lado o empacotamento das partículas reduzem esses efeitos, todavia, alguns estudos apontam que a fluência e a retração em concretos autoadensáveis seja maior do que em concretos convencionais, podendo ser encontrados valores de retração superiores a 50% entre os CAA e os CC (D'AMBRÓSIA *et al.*, 2005; PERSSON, 2005).

Devido à sua magnitude, as deformações lentas ou de longo prazo, diga-se retrações e fluência, são de fundamental importância para o desenvolvimento do desempenho do concreto, uma vez que o desencadeamento desse comportamento leva ao aumento de flechas em lajes e vigas, perda de protensão em estruturas de concreto protendido, fissuração deletéria e influenciam diretamente na durabilidade do sistema construtivo como um todo (MARQUES, 2011).

A fluência e a retração são propriedades complexas, pois dependem de diversos fatores e embora venham sendo exaustivamente estudadas, ainda estão longe de serem completamente compreendidas. Os modelos de previsões preconizados na literatura, não contemplam os diferentes tipos de concreto existentes, e a obtenção de resultados experimentais a longo prazo são morosos de serem realizados devido a infraestrutura necessária para ensaios de fluência e a grande variabilidade de resultados devido os diferentes parâmetros de dosagem dos concretos (MARQUES, 2011).

A obtenção de resultados experimentais das propriedades do CAA, produzidos com diferentes cimentos, aditivos e fibras, tanto no estado plástico, quanto no endurecido, contribuem para o aumento do conhecimento sobre o comportamento do CAA. Sendo assim esse trabalho pretende avaliar as retrações autógenas e de secagem, além da perda de massa de água no estado fresco para concretos com diferentes tipos de cimento, e diferentes teores de adições mitigadoras de retração.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos, tanto no estado plástico, quanto endurecido, de concretos autoadensáveis quando utilizado diferentes tipos de soluções mitigadoras de retrações.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De modo a alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Estudar o efeito do uso de polímeros superabsorventes, fibras poliméricas e adições redutoras e compensadoras de retração nas propriedades do concreto autoadensável;
- b) Examinar a perda de massa dos diferentes concretos no estado fresco;
- c) Analisar as propriedades de coesão, adensabilidade e escoamento do CAA quando aplicado diferentes adições para mitigar as retrações;
- d) Verificar a influência das adições na resistência à compressão e módulo de elasticidade dos concretos autoadensáveis;
- e) Colaborar no estudo e compreensão do uso de medidas mitigadoras de retração em concretos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em 6 capítulos.

No primeiro capítulo faz-se a introdução do tema, juntamente com os parâmetros a serem analisados, apresentam-se justificativas para a pesquisa, assim como revela-se o objetivo geral e objetivos específicos.

No segundo capítulo, faz-se a revisão bibliográfica sobre o CAA, evidenciando-se os seguintes temas: efeitos no transporte de água no concreto; tipos de retração e estudos sobre as mesmas; aditivos e adições empregadas para mitigar a retração de concretos autoadensáveis.

No terceiro capítulo descreve-se o programa experimental, e apresentam-se os materiais e métodos utilizados nessa pesquisa, assim como as variáveis de pesquisa.

No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados com base em pesquisas realizadas por demais autores, onde no quinto capítulo são apresentados a síntese dos resultados.

As conclusões são expressas no sexto capítulo, assim como propostas para pesquisas futuras, e no final do trabalho, são apresentadas as referências bibliográficas, assim como os anexos e os apêndices necessários para a complementação da discussão dos resultados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesse capítulo, além de informações sobre o concreto autoadensável são abordados também a problemática do transporte de água no interior do concreto, assim como o processo deletério resultante desse transporte que é a retração do concreto. Ademais serão abordados os fatores que influenciam a retração, os ensaios mais empregados para a sua determinação, resultado de pesquisas relacionadas ao tema, além dos materiais que podem ser empregados na mitigação da retração.

2.1 CONCRETO AUTOADENSÁVEL

O desenvolvimento do CAA foi possível graças ao surgimento dos aditivos superplastificantes, empregados primeiramente em concretos fluídos para aplicação em concretagens submersas e de fundações, onde era praticamente impossível ou oneroso realizar a compactação do concreto. No entanto o emprego do concreto fluído apresentava um problema, existia um risco excessivo de segregação do concreto durante o lançamento de elevadas alturas, em estruturas densamente armadas ou quando da necessidade de adensamento, em vista desse problema estudos foram realizados no final da década de 70, início da década de 80 em países como Alemanha, Itália e Japão que levaram ao desenvolvimento do concreto autocompactável, autocompactante, autonivelante, concreto reoplástico, ou simplesmente concreto autoadensável (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

O concreto autoadensável, desenvolvido no Japão no fim da década de 80, e difundido na década de 90 por toda a Europa, teve como impulso a necessidade de garantir a durabilidade de elementos de concreto, devido a verificação de um alto índice de falhas de concretagem, principalmente em pilares, decorrentes da deficiência da mão de obra e má execução da etapa de adensamento (REPETTE, 2008).

De acordo com o EFNARC (2002), o concreto deve apresentar três propriedades fundamentais: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação. A fluidez é a capacidade que o concreto apresenta de fluir dentro da fôrma e preencher todos os espaços. Habilidade passante é a propriedade que caracteriza a capacidade de a misturas escoar pela fôrma e armaduras sem que ocorra a obstrução do fluxo ou segregação. E a resistência à segregação é a propriedade que define a capacidade do concreto permanecer fluído dentro das fôrmas ao longo

de toda a sua extensão. Segundo Laumet *et. al.*² (2005, *apud* FERRAZ, 2009), uma dosagem adequada de CAA resulta em uma mistura econômica, trabalhável com resistência e durabilidade satisfatórias. Sendo que a diferença entre a dosagem do concreto autoadensável e o concreto convencional é mostrada na Figura 3, onde verifica-se a diferença significativa entre os teores de pasta e argamassa.

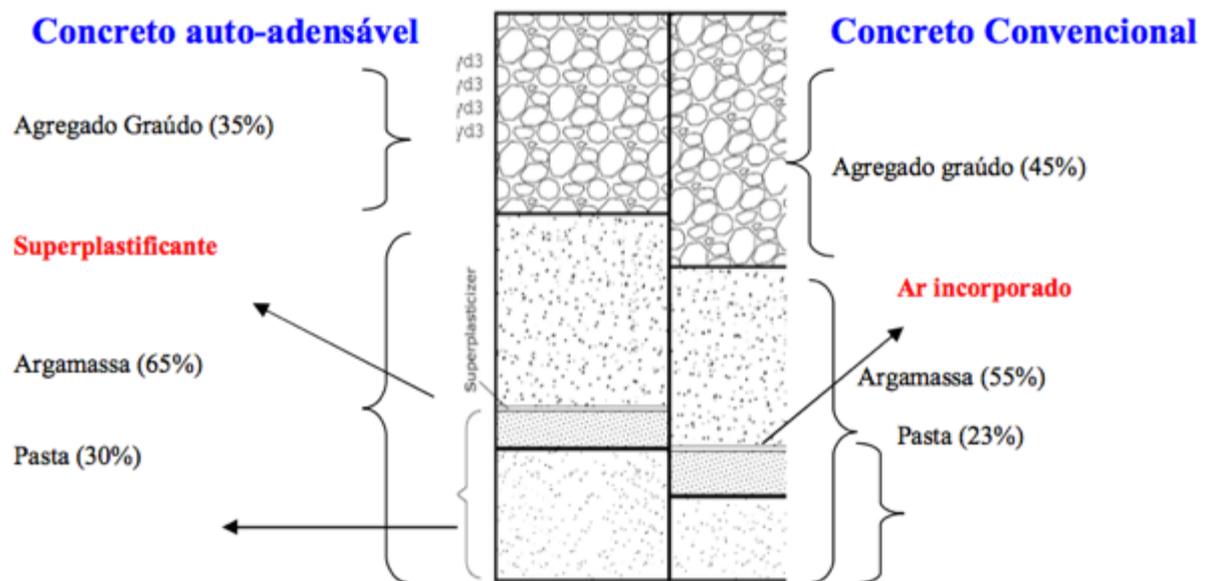


Figura 3: Comparação dos componentes do CAA e do CC.
Fonte: Ferraz, (2009).

A difusão da utilização do CAA, primeiramente na Europa e depois para o resto do mundo, ocorreu devido as suas vantagens de eliminação da vibração, o que pode levar a se produzir ou obter um material com maior qualidade, pois aumenta-se a eficiência econômica devido ao maior rendimento no lançamento; redução de ruídos de vibração; incorporação de resíduos industriais como adições e possibilidade de bombeamento a grandes distâncias devido a sua resistência à segregação. Em contrapartida, faz-se necessário mão de obra especializada, e um melhor controle tecnológico durante a sua aplicação e metodologia de mistura e dosagem (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

Não há diferença na especificação e no controle das propriedades do concreto endurecido do CAA, em relação aos concretos vibrados. Em princípio não deve haver diferença para controle dos materiais constituintes, mas o CAA é mais sensível às variações desses materiais, por isso recomenda-se que se façam testes de robustez para avaliação do concreto. O desempenho do CAA no estado endurecido é avaliado de forma idêntica ao de concretos

² LAUMET, P.; CZARNECKI, A.; NOWAK, A. S. Comparison of the mechanical properties of SCC and ordinary concrete. *Cement and Concrete Research* n° 35, 2005.

convencionais, enquanto que para permitir a avaliação do desempenho do concreto fresco são necessárias referências para os resultados dos ensaios preconizados pela NBR 15823-1 (2010).

2.1.1 Materiais Constituintes Básicos

2.1.1.1 Cimento

De acordo com NBR 5732 (1991), o cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos. O clínquer são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de um material sintetizado, produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas, (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Não existe nenhuma exigência quanto ao tipo de cimento. A quantidade mínima do cimento recomendada é da ordem de 350 kg/m^3 para satisfazer a demanda de finos, de tal modo que esta deverá estar equilibrada com a quantidade de adição e com a demanda de água (EFNARC, 2002).

Verifica-se em diversos estudos que o tipo de cimento empregado no CAA, depende da capacidade de manter as propriedades reológicas do concreto, portanto deve-se analisar a cinética das reações químicas dos cimentos empregados, principalmente a velocidade de reação do aluminato tricálcico (C_3A) e a finura do mesmo. Quanto menor a quantidade de C_3A no cimento, mais fácil será o controle reológico e maior o tempo em “aberto” do concreto, ou seja, o seu tempo de pega será estendido. Para tanto, na prática recomenda-se limitar o teor de C_3A em 10% (TUIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

2.1.1.2 Adição de Finos

O emprego de adições é imprescindível para satisfazer a demanda de finos que requer o concreto autoadensável. Dentro do que se entende de adição de finos, inclui-se também, os finos por parte das areias, que, em geral, passa pela peneira de 0,08 a 0,063 e os finos que alguns tipos de agregados britados (FERRAZ, 2009).

A utilização de finos promove o aumento da trabalhabilidade, e atua garantindo a coesão da pasta, elevando a resistência à segregação, que pode ser um dos parâmetros de risco quando se utiliza grandes quantidades de superplastificante. No estado endurecido, o concreto, com adição de finos, apresenta melhora nas propriedades mecânicas, devido ao melhor preenchimento de vazios, tornando-o assim, mais denso, porém a quantidade de adição deve ser verificada com rigor, já que o aumento na dosagem de finos aumenta a demanda de água, devido à sua alta superfície específica, o que acarreta aumento de dosagem de aditivo superplastificante (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

As adições minerais, de acordo com sua ação físico-química, podem ser classificadas em dois grandes grupos: adições minerais quimicamente ativas e adições minerais sem atividade química.

As adições minerais quimicamente ativas atuam tanto como material pozolânico como material cimentante. O material pozolânico, é considerado como um aglomerante que reage quimicamente com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) resultando em compostos cimentantes, como exemplo a sílica ativa, a cinza da casca de arroz e o metacaulim. O material cimentante, possui, na sua composição compostos minerais, similares ao clínquer, que na presença de água são capazes de gerar C-S-H, sem uma hidratação mais lenta que o do clínquer do cimento Portland, sendo materiais cimentantes comumente utilizados a cinza volante ou a escória de alto forno (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

As adições sem atividade químicas apresentam efeito puramente físico de e empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento. A incorporação dos filer nos CAA deve ser feita pela substituição do agregado miúdo, já que apresenta maior finura do que esse, o que melhora as condições de compacidade do esqueleto granular e coesão da mistura. Calcário e a areia fina têm sido os mais tradicionais filer usados para a produção de CAA.

As adições minerais devem ser escolhidas após uma análise técnica e econômica e podem ser diversas, desde que tenham áreas superficiais maiores que a do componente que estão substituindo, sendo que não existe normalização sobre o tipo da adição empregada, uma vez que o filer calcário e basáltico, pó de mármore, metacaulim, etc., vêm sendo utilizados como adições aos concretos.

2.1.1.3 Agregados Miúdos

O agregado miúdo é definido como o material granular passante na peneira de malha 4,75 mm e retido na peneira de 0,150 mm, podendo ser de origem natural, britada ou reciclada (NBR 7211, 2009).

O código EFNARC (2002) comenta que qualquer tipo de agregado miúdo pode ser empregado para a confecção do CAA, sendo que o volume do agregado miúdo por representar de 50% a 60% do volume total de agregado, em função do tipo de adição mineral, cimento e agregado graúdo empregado.

A seleção do agregado miúdo está condicionada à demanda de água, fator essencial por sua influência sobre a coesão e fluidez do concreto. Agregados miúdos com partículas arredondadas e lisas, e com menor módulo de finura, são preferíveis para produção de CAA porque aumentam a fluidez da mistura para uma mesma quantidade de água (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2014).

2.1.1.4 Agregados Graúdos

O agregado graúdo é definido como o material granular passante na peneira de malha 75 mm e retido na peneira de 4,75 mm, podendo ser de origem natural, britada ou reciclada (NBR 7211, 2009), onde os agregados britados tendem a possuir maior resistência por causa do travamento do ângulo das partículas, enquanto que os naturais aumentam a capacidade de fluidez da mistura (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A distribuição granulométrica do agregado influencia o empacotamento dos grãos e, como resultado, pode alterar a fração volumétrica das britas que serão incorporadas em uma mistura de concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Assim como no concreto convencional, o volume ocupado pelo agregado graúdo, é significativo para determinar as propriedades do concreto autoadensável, principalmente no estado fresco. Apesar de não existirem limitações quanto à sua natureza, existem limitações quanto ao tamanho máximo e quanto ao coeficiente de forma do mesmo (FERRAZ, 2009), sendo que a EFNARC (2002) indica que a dimensão máxima do agregado deve ser de 25 mm, enquanto que estudos encontrados na literatura priorizam o emprego de dimensões máximas de 12 a 16 mm.

2.1.1.5 Água

A água empregada ao concreto autoadensável, deve seguir os mesmos parâmetros, do concreto convencional, determinados pela ABNT NBR 15900-1 (2009), entre esses requisitos estão a quantidade de cloretos e de sulfatos aceitáveis na água, além de outros elementos e características físicas.

A quantidade de água empregada deve guardar relação com a quantidade de finos empregados numa razão de 0,9 a 1,05. A relação água/finos (A/F), inferior a 0,9, gera concretos demasiadamente coesos, que necessitam de muito volume para se auto compactarem. Por outro lado, a relação A/F, superior a 1,05, implica num elevado risco de exsudação (FERRAZ, 2009).

No cálculo da água de mistura, na produção do CAA, é muito importante a determinação da umidade e absorção dos agregados, realizando ensaios laboratoriais o mais próximo possível do momento da concretagem, bem como a verificação da temperatura ambiente. A elevação desta temperatura, geralmente, acarreta maior demanda de água e em uma maior perda de trabalhabilidade, enquanto que a falta de controle da umidade do agregado miúdo pode afetar em até 45mm o resultado do ensaio de espalhamento do concreto (DOMONE³, 2003 *apud* TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

2.1.1.6 Aditivos

Os aditivos são produtos que adicionados em pequenas quantidades aos concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhora-las ou adequá-las a condição de aplicado do concreto, com desempenho determinado pelo tipo de aditivo pela NBR 11768 (2011). São dois os principais tipos de aditivos usados: os superplastificantes e os modificadores de viscosidade.

Os aditivos superplastificantes (tipo SP) são produtos, compostos em sua maioria de lignosulfonatos, sulfonatos ou policarboxilatos, que aumentam o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento, ou que reduzem em até 12% o consumo de água para uma determinada consistência. Enquanto que os aditivos modificadores de viscosidade (MVA) são produtor, a base de polissacarídeos ou de base orgânicas, que

³ DOMONE, P.L. Self-compacting concrete: an analyses of 11 years of cases studies. **In: Cement & Concrete Composites**, n- 28, p. 197-208, 2006.

melhoram a coesão da massa no estado fresco, podendo substituir os componentes finos do concreto.

2.1.2 Propriedades Estado Fresco

O concreto autoadensável se diferencia dos demais concretos pela definição das suas características no estado fresco, devendo apresentar extrema fluidez, sem que ocorra segregação, ou seja deve ser um material fluido e viscoso simultaneamente, devendo haver um equilíbrio entre a tensão de escoamento produzida pelo concreto, com a viscosidade desejada, Figura 4.

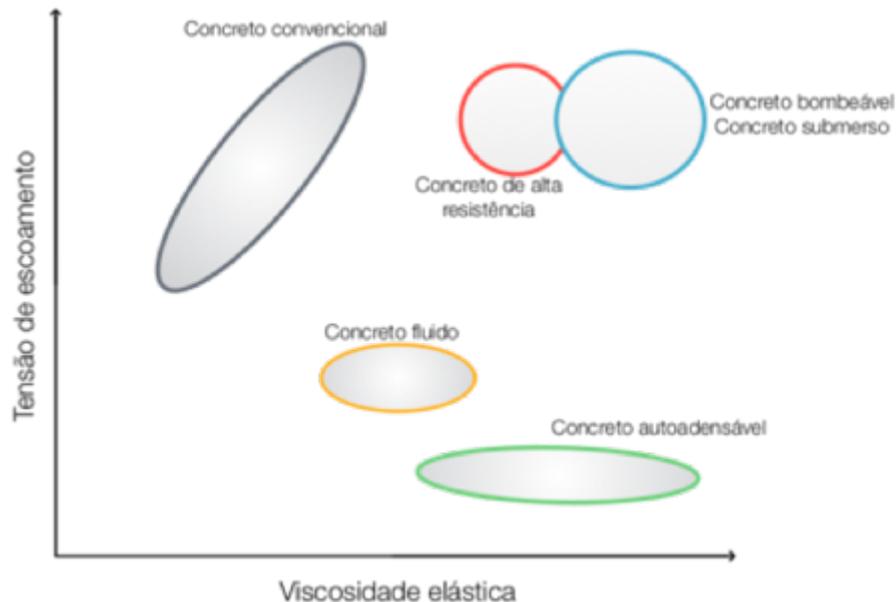


Figura 4: Parâmetros reológicos dos concretos.
Fonte: Pereira (2010).

As principais propriedades necessárias para classificar um concreto como auto adensável são:

- Capacidade de preenchimento ou fluidez – capacidade do concreto em fluir dentro das fôrmas, preenchendo todos os espaços, entre armadura e armadura e armadura e fôrma;
- Habilidade passante – capacidade de fluir coeso e íntegro entre obstáculos da fôrma;
- Resistência à segregação: capacidade do concreto em manter-se coeso ao longo do espalhamento do concreto dentro da fôrma, passando ou não por obstáculos.

Muitos estudos veem sendo realizados para desenvolver os diferentes métodos de ensaio para tentar caracterizar as propriedades de CAA. Até o momento, não existe um método único ou a combinação uma combinação adequada dos métodos. De modo semelhante, ninguém descobriu um método para caracterizar todos os aspectos relevantes de trabalhabilidade, de modo que cada concreto deve ser contrastado com mais do que um método de ensaio para diferentes parâmetros de trabalhabilidade (EFNARC, 2002).

Como controle do recebimento do CAA em obra, considera-se que os ensaios devem ser realizados quando:

- Antes da introdução dos aditivos na obra, ensaio de abatimento segundo a NM 67 (1998);
- Completada a mistura do CAA com aditivos, ensaio de habilidade passante e capacidade de fluidez, NBR 15823-2 (2010) e NBR 15823-3 (2010).

A Tabela 1 apresenta a recomendação da EFNARC (2002) para os métodos de ensaios que podem ser empregados para habilitar as propriedades do CAA.

Tabela 1: Métodos de ensaio para o CAA.

Método de Ensaio	Propriedade avaliada
Ensaio de espalhamento pelo Cone de Abrams	Capacidade de preenchimento
Fluxo de espalhamento T50 cm	Capacidade de preenchimento
Anel-J	Habilidade passante
Funil-V	Capacidade de preenchimento
Funil-V 5 min	Resistência à segregação
Caixa-L	Habilidade passante
Caixa-U	Habilidade passante
Caixa de enchimento	Habilidade passante
Cano-U	Habilidade passante
Orimet	Capacidade de preenchimento

Fonte: EFNARC (2002).

Tal como para o controle da qualidade do concreto convencional, deve-se realizar ensaios em obra para determinar as características do CAA, julga-se que a utilização de dois métodos de ensaio é suficiente para controlar a qualidade da produção. As combinações mais comuns são o espalhamento pelo Cone de Abrams e fluxo de funil V ou passagem pelo anel-J.

A frequência dos ensaios é dada por betonada ou volume do lote de concreto, o espalhamento deve ser realizado para cada betonada, enquanto que o anel-J em cada jornada de trabalho, ou no mínimo a cada 30 m². Os demais ensaios devem ser acordados entre as partes envolvidas no processo de concretagem (NBR 15823-1, 2010).

2.1.2.1 Método de Determinação Do Espalhamento E Do Tempo De escoamento – Cone De Abrams

O ensaio de espalhamento pelo cone de Abrams, ou *Slump Flow* (Figura 5 c), é utilizado em obra e em laboratório para determinação da capacidade de preenchimento, ou seja, a fluidez livre do CAA, sem que ocorra a segregação. O método de espalhamento foi primeiramente utilizado para avaliar a trabalhabilidade de concretos extremamente fluidos, no Japão, para a aplicação de concretagens submersas (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2014).

O ensaio do *Slump Flow*, pode ser utilizado para verificar visualmente a existência da segregação do concreto (Figura 5 a e b), enquanto que a análise do tempo em que o concreto leva para abrir 50 cm (*Slump Flow T_{50 cm} Test*) verifica se o concreto está muito ou pouco coeso, maiores tempos para atingir 50 cm de abertura, são resultantes de concretos mais coesos, enquanto que quanto menor o tempo mais fluido está o concreto, necessitando de correção.



(a) Concreto com Exsudação.



(b) Concreto com Segregação.



(c) Concreto com aparência adequada.

Figura 5: Aparência do concreto durante *Slump Flow*.

O *Slump Flow* é regulamentado pela NBR 15823-1 (2010) e consiste em um ensaio similar ao abatimento do tronco de cone para concretos convencionais. Pode ser executado por

uma pessoa, existe uma base metálica de 1000 x 1000 mm – que não absorva água e nem provoque atrito com o concreto. Na base metálica tem-se as marcações de 200 mm para centralização do cone, de 500 mm para análise do tempo de escoamento (*Slump Flow T_{50 cm Test}*), conforme Figura 6, o ensaio consiste em preencher o tronco de cone metálico, de dimensões de 200 x 100 x 300 mm, e retirá-lo verticalmente, sendo o resultado do espalhamento determinado pela média de duas medições, perpendiculares entre si.

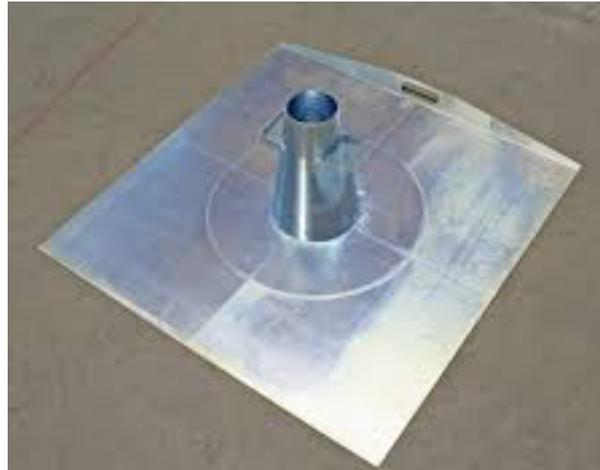


Figura 6: Aparato para realização do Slump Flow.

Segundo determinação da EFNARC (2002) o espalhamento final do CAA (SF) deve estar entre 650 e 800 mm, enquanto que o tempo de espalhamento para o diâmetro de 500 mm, deve ser entre 2 e 5 segundos. Pela NBR 15823-1 (2010), existem três classes de fluidez, e duas classes de viscosidade conforme, Tabela 2.

Tabela 2: Classificação quanto viscosidade e fluidez.

Propriedade	Classe	Parâmetro	Ensaio
Fluidez	SF 1	550 a 650 mm	<i>Slump Flow</i>
	SF 2	660 a 750 mm	<i>Slump Flow</i>
	SF 3	750 a 850 mm	<i>Slump Flow</i>
Viscosidade	VS 1	≤ 2,0 s	<i>Slump Flow T_{50 cm Test}</i>
	VS 2	> 2,0 s	<i>Slump Flow T_{50 cm Test}</i>

Fonte: Adaptado NBR 15823-1, (2010).

A aplicabilidade de cada concreto, em função da sua classificação é dada na Tabela 3. Vale ressaltar que as classes determinadas para a norma e a recomendação de aplicação são recomendáveis para concretos confeccionados com diâmetro máximo de 20 mm para o agregado graúdo.

Tabela 3: Aplicabilidade do concreto quanto a sua classificação de fluidez e viscosidade.

Classe	Aplicação
SF 1	- Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto com deslocamento livre; - Concreto autoadensável bombeado; - Estruturas que exigem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto autoadensável.
SF 2	- Aplicações corriqueiras.
SF 3	- Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm).
VS 1	- Elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas exige controle de exsudação e da segregação; - Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com descolamento livre.
VS 2	- Aplicações corriqueiras; - Efeitos negativos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e susceptibilidade, ou demora entre camadas de concretagem.

Fonte: Adaptado NBR 15823-1, (2010).

2.1.2.2 Método de Determinação Anel-J

O método do anel-J é o ensaio utilizado para determinação da habilidade passante do CAA e regulamentado pela NBR 15823-2 (2010), e é recomendado para classificação do CAA, em laboratório ou obra, sendo o único ensaio de habilidade passante recomendado pela EFNARC (2002) para ser aplicado em obra. É considerado como um ensaio complementar do *Slump Flow Test*, do *Orimet Test*, ou do Teste do Funil-V.

A Figura 7, ilustra o conjunto de equipamentos necessários, sendo os mesmos do Slump Flow, com o acréscimo de um anel, com barras de aço espaçadas, de 10 mm de diâmetro, em uma distância maior que 3 vezes o diâmetro máximo do agregado graúdo.



Figura 7: Aplicabilidade do concreto quanto a sua classificação.
Fonte: Concrete Network (2016).

A realização do ensaio é similar ao do Slump Flow, onde o cone metálico do ensaio de espalhamento é colocado dentro do anel com barras, sendo que, ao retirar verticalmente o cone, ocorre a fluidez do concreto por entre as barras, sendo uma forma de inferir a fluidez restrita do CAA, ou seja, a habilidade passante, a Figura 7 ilustra o visual do concreto após realização do ensaio.



(a) Vista superior.

(b) Vista lateral.

Figura 8: Resultado do ensaio do anel-J.

A NBR 15823-3 (2010) regulamenta a utilização de anéis com 16 barras, devido à restrição do diâmetro máximo do agregado graúdo em 20 mm, a EFNARC (2002) regulamenta que conforme a alteração do diâmetro máximo deve-se reduzir o tamanho de barras de forma a obedecer a regra do espaçamento de 3 vezes da dimensão máxima do agregado. O resultado final do ensaio é dado pela diferença entre o espalhamento médio do CAA sem o anel, e o espalhamento médio com o anel. EFNARC (2002) classifica a habilidade passante do concreto pelo método do anel-J em valores entre 0 e 10mm, enquanto que a Tabela 4, apresenta a classificação da NBR 15823-1 (2010).

Tabela 4: Classificação quanto a habilidade passante.

Propriedade	Classe	Parâmetro	Ensaio
Habilidade passante	PJ 1	25 a 50 mm	Anel com 16 barras
	PJ 2	0 a 25 mm	

Fonte: Adaptado NBR 15823-1, (2010).

Com relação a classificação a NBR 15823-1 (2010), também sugere condições de aplicação para o CAA em relação a habilidade passante, a Tabela 5 ilustra as situações em que os concretos podem ser aplicados em relação ao ensaio do anel-J. Vale ressaltar que valores superiores aos parâmetros da norma devem ser avaliados pelo responsável pela execução da obra, devido a taxa de armadura existente e a geometria das seções.

Tabela 5: Aplicabilidade do concreto quanto a sua classificação de habilidade passante.

Classe	Aplicação
PJ 1	- Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 a 100 mm.
PJ 2	- Aplicações corriqueiras; - Elementos estruturais com espaçamento de armadura de 60 a 80 mm.

Fonte: Adaptado NBR 15823-1, (2010).

2.1.3 Propriedades Estado Endurecido

A norma brasileira de concreto autoadensável, apresenta apenas os requisitos do CAA no estado fresco, uma vez que as propriedades do estado endurecido serão regulamentadas pelas características estruturais e de durabilidade dos elementos em concreto.

Estudos das propriedades no estado endurecido do CAA, como teses de Goodier (2003), Tutikian (2007), Marques (2011) e Senisse (2010), comprovam as definições feitas por Neville e Brooks (2010) e Mehta e Monteiro (2014) de que a resistência à compressão e à tração do CAA será igual ou superior, em relação ao um CC, produzido com a mesma relação a/c. O leve aumento da resistência do CAA está relacionado a maior quantidade de finos e maior compactação do CAA, por reduzir o efeito da falta de adensamento, ou adensamento incorreto dos concretos. Podendo-se obter resistências no CAA superiores em até 30% aos concretos convencionais para uma mesma relação a/c (MARQUES, 2011).

No entanto os mesmos autores ressaltam que por apresentarem teores de argamassa, e consumo de cimento superiores ao concreto convencional o concreto autoadensável sofre uma maior influência nas propriedades de retração e módulo de elasticidade.

Estudos realizados por Holschemacher⁴ (2004, *apud* MARQUES, 2011) comprovam que o elevador teor de argamassa e cimento empregados no CAA, alteram as propriedades de deformação do concreto, onde o módulo de elasticidade do CAA é mais baixo do que módulos de elasticidade para concretos convencionais. Uma vez que o módulo de elasticidade sofre influência, da origem, e principalmente da dimensão máxima do agregado graúdo, quando da utilização de menores diâmetros, caso do CAA, espera-se, também que ocorra uma redução do módulo de elasticidade para esse tipo de concreto. Ao comparar o módulo de elasticidade de um concreto autoadensável com um convencional, com mesmo teor de argamassa, pode-se verificar que o CAA pode apresentar redução de até 65% em relação ao CC (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015).

⁴ HOLSCHMACHER, K. Hardened material properties of self-compacting concrete. **Journal of civil engineering and management**, v.X, n.4, 261-266, 2004.

No que diz respeito às variações volumétricas, o teor elevado de argamassa dos CAA, tendem a aumentar os valores de retrações químicas e por secagem. No entanto, pesquisas bibliográficas constataam valores divergentes quanto os resultados da influência do tipo de concreto (CAA x CC) nos valores de retração. Persson (2005) afirma que os coeficientes de retrações para ao concreto autoadensável são semelhantes ao concreto convencional, devido à maior resistência do concreto nas primeiras resultante da presença de finos, por outro lado a redução da dimensão e do volume do agregado agraúdo resultam em um aumento da retração do CAA em relação ao CC.

Para D'Ambrósia (2005) a elevada quantidade de pasta e baixa relação a/c do CAA elevam o potencial de fissuração por retração autógena, uma vez que para atingir os requisitos de adensabilidade, fluidez e coesão o CAA necessita de um teor de pasta superior ao concreto convencional. O estudo realizado por Ferraz (2009), para aplicação do CAA em uma indústria de pré-moldados com o emprego do cimento CP V, apresentou resultados de retração e de fluência superiores para o CAA em relação ao concreto convencional para essa mesma aplicação, comprovando a afirmação feita por D'Ambrósia (2005).

2.2 VARIAÇÕES VOLUMÉTRICAS NO CONCRETO

No concreto, as deformações podem ser viscoelásticas, parcialmente reversíveis, consistindo de uma fase viscosa e de outra elástica e plástica não reversível (NEVILLE, 2006). Além das deformações próprias causadas pela perda de água (retração) e pela variação de temperatura, existem também as deformações por forças aplicadas.

A retração da pasta de cimento, está totalmente relacionada ao fator de durabilidade das estruturas de concreto, principalmente as estruturas de concreto armado, uma vez que a variação volumétrica, pode resultar em tensões internas, superiores à resistência à tração interna do material, gerando fissuras e conseqüentemente caminhos de percolação de agentes agressivos.

A retração do concreto é a diminuição de volume devido à evaporação do excesso de água que não é consumida no processo de hidratação do cimento, sendo uma deformação que independe do carregamento. É um processo indesejado, e intrínseco do concreto, nos séculos XIX e XX pouco se estudou sobre esse processo, sendo que os efeitos da retração eram considerados desprezíveis devido à baixa resistência dos aglomerantes, a primeira teoria proposta para justificar a retração ocorreu entre 1926-29 por Freyssient (TAVARES, 2008).

Pode-se dividir a retração em duas fases: retração em idade precoce, que ocorre nas primeiras 24 horas, durante o estado plástico e primeiras horas de ganho de resistência, e o encolhimento de longo prazo, que ocorre após 24 horas, somente na fase endurecida do concreto (KHAIRALLAH, 2000). No entanto pode-se correlacionar a retração dos concretos com o tipo de mecanismos de retração: retração por perda de água para o meio externo (sucção ou evaporação), retração química, retração autógena, retração por carbonatação e retração química, conforme Figura 9.

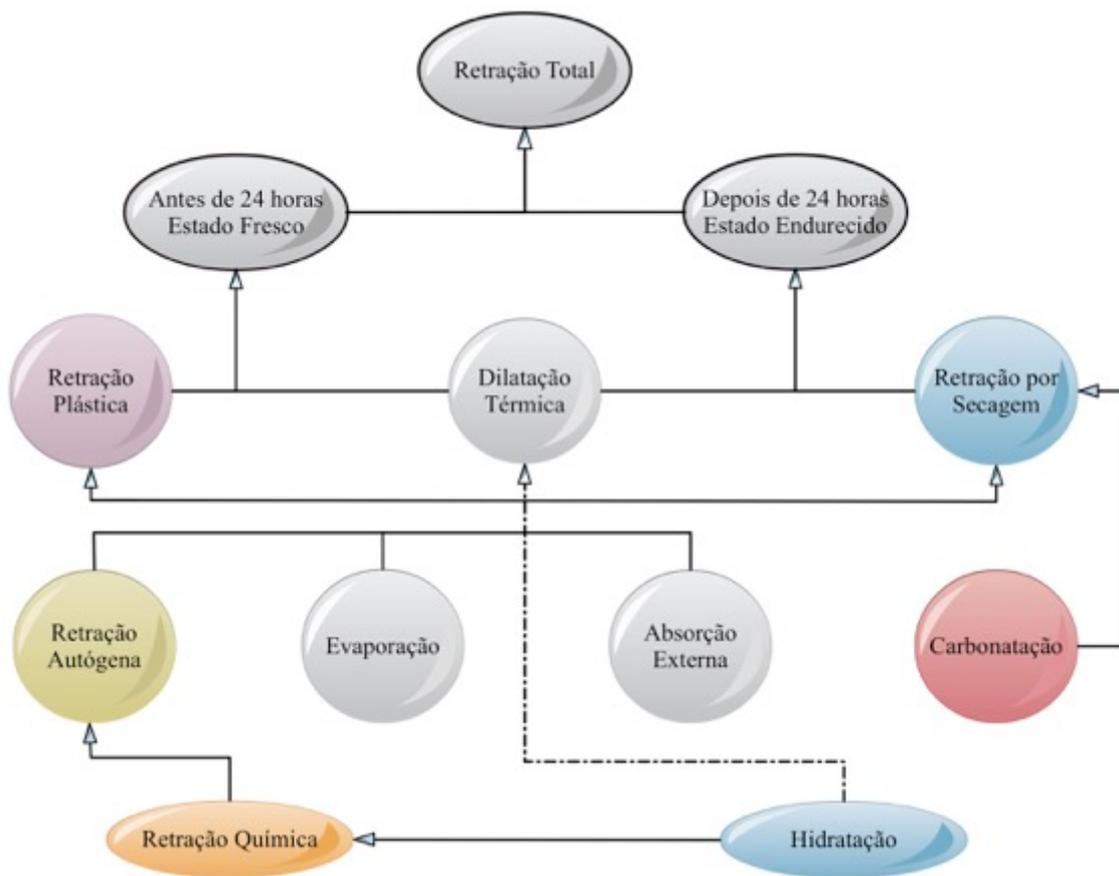


Figura 9: Mecanismo de retração total.

Fonte: SILVA (adaptado, 2011).

Segundo Helene e Andrade (2007), no concreto fresco, a perda de água ocorre por exsudação, evaporação, percolação por juntas dos moldes, absorção de água pelos agregados, absorção de água pelas fôrmas ou por alguma superfície de contato com a peça concretada, que originam a chamada retração plástica. No concreto endurecido, a perda de água ocorre quando este é exposto em ambiente com umidade relativa inferior a 100%, ocorrendo então a chamada retração hidráulica ou por secagem. A perda de água capilar ou livre é considerada a principal causa da retração por secagem (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

O fenômeno da retração não é de fácil compreensão e por isto não deve ser explicado apenas pela análise da microestrutura, mas este deve ser estudado em três níveis (TANESI, 1999):

- Micro, abordando a microestrutura da pasta de cimento, com ênfase a estrutura do silicato de cálcio hidratado (C-S-H);
- Médio, abordando poros capilares e fissuras;
- Macro, abordando a geometria dos elementos e teor de agregados.

O nível macro somente é abordado quando da análise dos fatores que influenciam na retração. Assim, analisando sob o ponto de vista da estrutura micro e média, os mecanismos de retração são três (TANESI, 1999):

- Mecanismos associados à perda de água;
- Mecanismos de transferência de massa;
- Mecanismos químicos.

Os mecanismos associados à perda de água explicam a relação entre a redução de volume da pasta de cimento e a perda de água. Já os mecanismos de transferência de massa explicam como ocorre a movimentação de água nos microporos da pasta de cimento. Os mecanismos químicos explicam a perda de água que é consumida nas reações químicas de hidratação do cimento.

Apesar da complexidade do fenômeno da fissuração por retração, várias possíveis soluções para o problema retração são apontadas. São elas: o emprego de aditivo redutor de retração, mais comumente utilizado para combater a retração por secagem, controle da distribuição do tamanho das partículas de cimento, modificação da composição mineralógica do cimento, a adição de agregado miúdo leve saturado, o novo conceito de “água incorporada” (polímeros superabsorventes), uso de fibras, emprego de aditivos expansivos e até a combinação de duas ou mais estratégias apresentadas. Entretanto, alertam os pesquisadores, como qualquer remédio, novos problemas podem ser criados pela aplicação dessas “estratégias mitigadoras”. Assim, devem ser avaliadas em termos de efetividade, facilidade de implementação e efeitos nas propriedades mecânicas e principalmente na durabilidade (LOPES, 2011).

2.2.1 Movimentação de Água

A variação volumétrica do concreto, está sempre associada às movimentações de água na pasta, bem como as trocas higroscópicas com o meio exterior, sendo necessário apresentar os tipos de água existentes na mistura de concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A movimentação e a perda da água de uma pasta cimentícia, dependem do tamanho e das conectividades dos poros e também das condições ambientais, entre outros fatores. Este fenômeno é provocado pelas diferenças de pressão entre o meio gasoso e o líquido, explicado pelas leis de Laplace e Kelvin.

Com relação aos poros e a movimentação da água tem-se as seguintes situações (MEHTA e MONTEIRO, 2014):

- a) Água Capilar: é a água presente em poros superiores a 5 nm e que pode ser definida como aquela que não sofre influência das forças atrativas ou repulsivas de superfícies sólidas podendo ser dividida em dois tipos: a primeira, denominada livre e que se aloja em vazios superiores a 50 nm, cuja remoção não causa nenhuma alteração no esqueleto sólido da pasta de cimento, isto é, não há forças de natureza química ou física envolvidas no processo (poros não ativos); a outra, que se aloja em capilares menores – entre 5 e 50 nm – quando removida promove a retração da pasta, principalmente por efeito de tensões capilares.
- a) Água quimicamente combinada: é a que faz parte dos vários produtos de hidratação formados e que não pode ser removida, exceto quando há um aquecimento excessivo capaz de decompor as espécies.
- b) Água adsorvida: é a água adsorvida pela existência de forças atrativas nas superfícies dos sólidos formados na hidratação; a quantidade sugerida da água adsorvida seria a relativa a seis moléculas – da ordem de 1,5 nm de espessura – que são mantidas aderidas pela existência de pontes de hidrogênio, que é menor à medida que as moléculas se afastam da superfície; condições severas de secagem, com umidade relativa inferior a 30 % pode remover a maior parte da água adsorvida, causando retração na pasta.
- c) Água intersticial (entre camadas dos cristais) – água de gel: está associada à estrutura do C-S-H, na qual é sugerida camada mononuclear entre as camadas desse silicato hidratado, fortemente ligada a este por pontes de hidrogênio; só pode ser removida em condições extremas de

retração, com umidade relativa abaixo de 10% e, nesse caso, causa forte retração no C-S-H.

A Figura 10, apresenta um esquema do comportamento da água na estrutura da pasta de cimento.

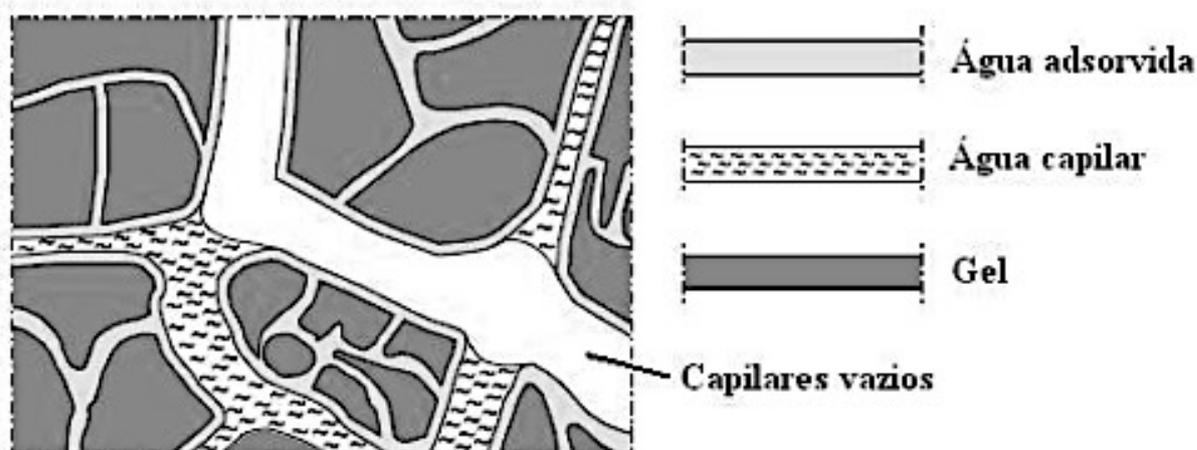


Figura 10: Representação esquemática da presença de água na estrutura da pasta de cimento.
Fonte: (Breugel⁵, 1991 *apud* Silva, 2011).

As águas capilares, presentes nos poros maiores que 50 nm, são águas livres da influência das forças de atração exercidas pela superfície sólida, diferentemente da água adsorvida que está ligada à superfície sólida através de forças de atração molecular (MEHTA e MONTEIRO, 2014)

A água retida pelas forças superficiais das partículas de gel é denominada água adsorvida, e a parte que fica retida entre as superfícies de certos planos num cristal é denominada água intersticial ou interfolha. A água estrutural é a parte da água de cristalização não quimicamente associada aos principais componentes de malha cristalina (NEVILLE e BROOKS, 2010). Sob efeito de secagem (autodessecação ou através de equilíbrio com o meio ambiente), esta água livre coexiste no estado gasoso e no estado líquido e as depressões criadas pelos meniscos dentro dos capilares permitem assegurar o equilíbrio entre estes dois estados. Para manter o equilíbrio com o meio exterior, esta água movimenta-se através da rede de poros da microestrutura e evapora para o meio exterior, o que provoca uma grande retração (GALLIAS⁶, 1982 *apud* SILVA, 2011).

⁵ BREUGEL, K. van. **Simulation of hydration and formation of structure in hardening cement-based materials**. Holanda, 1991, 295 p. Tese (Doutorado) – Delft University of Technology.

⁶ GALLIAS, J. L. **Mouvements d'eau et hydratation du liant dans une couche mince de mortier. Application aux enduits extérieurs**. França, 1982, 147 p. Tese (Doutorado) – Université Paul Sabatier de Toulouse.

2.2.2 Retração Plástica

É considerado retração plástica os efeitos decorrentes da movimentação de água no estado fresco do concreto, podendo ser dividida em: assentamento plástico e retração plástica.

O assentamento plástico ocorre pela movimentação das partículas sólidas para baixo (sedimentação pela gravidade) e o fenômeno de exsudação, faz o movimento para cima do ar aprisionado e da água.

O processo de fissuração no assentamento plástico ocorre, quando da movimentação das partículas sólidas na existência de um obstáculo (agregado ou barras metálicas), alterando a movimentação natural. As fissuras do assentamento ocorrem nos primeiros instantes após o lançamento do concreto, estando correlacionada a presença de barras horizontais, a ausência de revibração, a escolha da dimensão máxima característica superior a recomendada pela norma 12655, à quantidade de finos da dosagem e da porcentagem de C_3A do cimento. As fissuras causadas pelo assentamento plástico são consideradas microfissuras e não apresentam risco, na maioria dos casos, à perda de durabilidade (TAVARES, 2008).

A retração plástica ocorre quando a matriz cimentícia está transformando-se de fluido para sólido poroso, no entanto ainda no estado plástico. Segundo Mehta e Monteiro (2014) a retração plástica também é conhecida como retração por pré-endurecimento ou retração pré-pegas. Ocorre devido à perda de água da mistura por sucção das fôrmas, sucção do substrato ou evaporação, sendo possível a combinação de dois ou mais desses fatores,

A fissuração por retração plástica é mais comum em elementos de concreto cuja relação área superficial/volume é muito grande. Neste caso, a quantidade de água perdida por evaporação é maior. Se a taxa de evaporação de água para o meio ambiente for maior que a taxa de água que chega à superfície por exsudação, então a remoção desta água forma uma série complexa de meniscos capilares os quais criam tensões negativas que provocam a contração volumétrica da pasta de cimento. No caso dessas tensões serem superiores a resistência de tração da matriz cimentícia acarretará na fissuração da superfície, Figura 11.

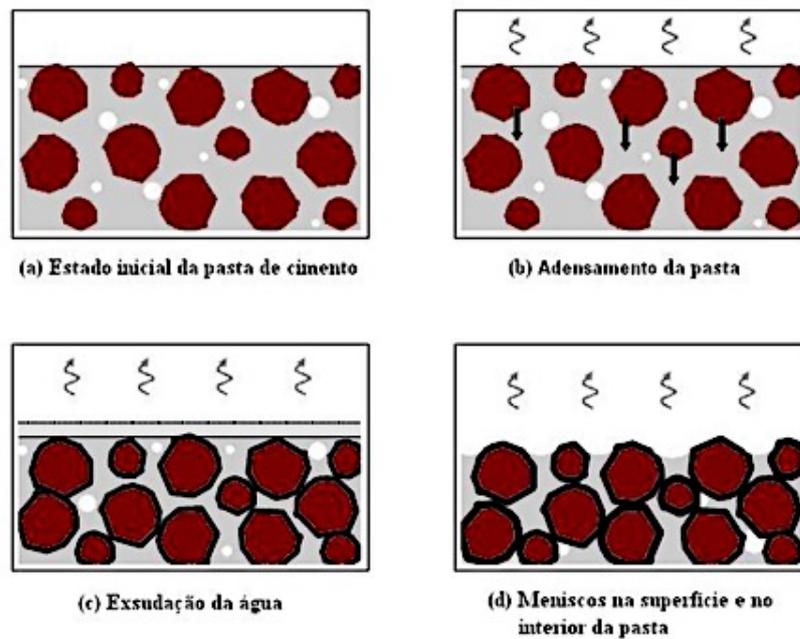


Figura 11: Processo de retração plástica.
Fonte: Turcry⁷ (2004 *apud* Silva, 2011).

Segundo Ferraz (2009) as fissuras por retração plástica podem ser:

- Mapeadas;
- Acompanhando a armadura ou outra inclusão no concreto;
- Acompanhando mudanças de seção;
- Diagonais, formando um ângulo de 45° em relação à borda da laje ou pavimento, com espaçamento de 0,3 m a 1,0 m.

De acordo com o ACI (1999), se a taxa de evaporação for maior que 0,5 kg/h/m², medidas preventivas devem ser tomadas para evitar a fissuração por retração plástica. Segundo Mehta e Monteiro (2014) a retração plástica e a fissuração ocorrem quando a taxa de evaporação da água do concreto fresco é maior do que a exsudação. Existem maneiras de prevenção para esse tipo de retração, como:

- Umedecer a sub-base (lastro) e as fôrmas;
- Umedecer os agregados quando secos;
- Construir quebra-vento temporário para reduzir a velocidade dos ventos sobre a superfície do concreto;
- Manter baixa a temperatura do concreto fresco pelo resfriamento dos agregados e da água de amassamento;

⁷ TURCRY, P. **Retrait et fissuration des betons autoplacants. Influence de la formulation.** França, 2004, 220 p. Tese (Doutorado) – École Centrale de Nantes.

- Reduzir o tempo entre o lançamento e início da cura pela eliminação de atrasos durante a concretagem;
- Minimizar a evaporação, proteger o concreto logo após o acabamento pelo uso de sacos de aniagem saturados, efetuar aspersão de água ou cura química.

Para Mehta e Monteiro (2014) as fissuras por retração plástica e assentamento podem ser sanadas pela revibração do concreto quando ele ainda se encontra em estado plástico. A revibração também influencia a resistência do concreto, tornando-a maior, alivia as tensões de retração plástica ao redor das partículas de agregado graúdo e melhora a aderência entre o concreto e a armadura.

2.2.3 Retração Autógena

A retração autógena, passou a ser uma propriedade conhecida do concreto no início do século XX, mas somente na década de 1990, que se deu a importância do seu estudo, devido as fissuras geradas em concretos de alto desempenho (CAD) (HASPARYK et al., 2005). Esse tipo de retração é também conhecido como retração por hidratação e retração química, sendo o processo também chamado de auto secagem ou auto dessecamento.

A retração autógena é a contração volumétrica da pasta de cimento durante a hidratação, sem perda de água para o ambiente externo, sob temperatura constante e desconsiderando as deformações térmicas. É causada pela redução da água livre nos poros, a qual migra para participar das reações de hidratação, bem como para adsorver-se na superfície dos recém-formados cristais de C-S-H (BALTHAR⁸, 2004 *apud* NUNES e FIGUEIREDO, 2007).

Usualmente, este tipo de retração é uma preocupação em concretos de alta resistência (CAR) ou alto desempenho (CAD), pois a sua magnitude é afetada diretamente pelas propriedades dos materiais reativos (cimento e pozolanas), constituintes do traço de concreto, e pela baixa relação a/c do compósito (MELO NETO, 2008). Normalmente, o período do início de pega corresponde ao momento em que se inicia a retração autógena (SENISSE, 2010).

A retração autógena apresenta processo similar a retração química, a Figura 12 representa de forma ilustrativa a relação entre o fenômeno da retração química e da retração autógena. Verifica-se a influência do processo de exsudação na relação entre a retração química

⁸ BALTHAR, V.K.B.L. **Retração autógena e evolução de propriedades mecânicas de pastas pozolânicas**. 2004. 128 p. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

e a retração autógena. Percebe-se que quando ocorre exsudação, Figura 12 (b), a retração autógena é reduzida, assim modificando a relação existente entre os dois fenômenos.

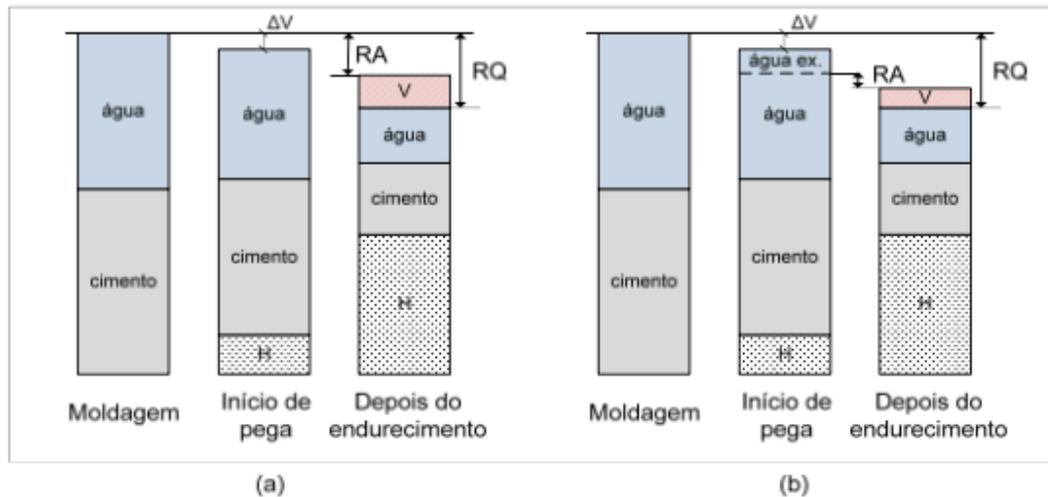


Figura 12: representação esquemática da relação entre a retração química e a retração autógena. (a) sem exsudação. (b) com exsudação.

Fonte: adaptado de Tazawa e Miyazawa⁹ (1995 *apud* Senisse, 2010);

Onde:

H – Produtos hidratados;

ΔV – Variação de comprimento dos materiais cimentícios antes do início de pega, proveniente de exsudação, retração química, entre outros.

V – Vazios gasosos gerados pela hidratação; água ex. – quantidade de água exsudada;

RA – Retração autógena;

RQ – Retração química.

Segundo Neville (2010) a retração autógena, na prática só ocorre no interior da massa de concreto e é menor do que a que ocorre em uma pasta de cimento pura. Isso acontece porque no concreto, a contração é restringida pelo esqueleto rígido da pasta de cimento já hidratada e também pelas partículas de agregado.

De acordo com Nunes e Figueiredo (2007) a retração autógena pode ser dividida em três fases: retração inicial ou primeira retração, período de expansão e segunda retração ou retração final.

- Primeira retração: ocorre de duas a três horas após a mistura e está relacionada ao início das reações de hidratação.

⁹ TAZAWA, E.; MIYAZAWA, S. Experimental study on mechanism of autogenous shrinkage of concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 8, p. 1633-1638, 1995.

- Período de expansão: ocorre entre quatro a dez horas após a mistura e pode ser prolongada até vinte horas. Este período de expansão ocorre devido à precipitação de grandes cristais de etringita durante a pega.
- Segunda retração: tem início no pós-pega e termina com a finalização da hidratação do cimento.

Deve-se ressaltar que a justificativa dada para o período de expansão é discutível, dado o fato que a reação de hidratação do cimento é exotérmica. Assim, o período de expansão pode estar mais associado à dilatação térmica da pasta de cimento do que pela formação de cristais de etringita (TAVARES, 2008).

Na retração autógena, quanto menores os poros, maiores são as tensões na fase líquida do menisco capilar e, conseqüentemente, maior é a contração volumétrica. Assim, quanto mais refinada a microestrutura da pasta, maior é a retração autógena, a qual pode ser da mesma magnitude da retração por secagem, sobretudo em concretos de alta resistência (Comité Euro-Internacional Du Béton, 1991).

A evolução da retração autógena com o tempo está diretamente relacionada com a cinética das reações de hidratação do cimento. Por isto, os mesmos fatores que influenciam na evolução da resistência do concreto (relação a/c, tipo e finura do cimento) também influenciam na evolução da retração autógena (NUNES e FIGUEIREDO, 2007).

Para Hasparyk et al. (2005) os fatores que afetam a retração autógena são:

- Relação água/(cimento + sílica ativa) e o teor de sílica ativa: a redução dessa relação gera um expressivo aumento na retração devido ao aumento da tensão capilar da água dos poros e aumento na tensão capilar, que provoca então a retração autógena”.
- Tipo de cimento: cimentos Portland comuns têm uma maior retração autógena do que um cimento Portland de médio calor de hidratação e um cimento rico em C₂S. A retração autógena também é maior em cimentos com adições de sílica ativa e escória, e menor naqueles com cinza volante, quando comparados com concretos sem adições.

As conseqüências da retração autógena em concretos de alto desempenho: segundo Hasparyk et al., (2005), o fenômeno provoca elevada fissuração, a perda de protensão, afeta a durabilidade do concreto e pode gerar problemas de ordem estética. Possíveis soluções para o problema da fissuração nas primeiras idades devido à retração autógena: tentar diminuir as forças de tração no menisco criado pela auto- dessecação num sistema fechado. Isso, através da

incorporação de aditivos químicos e a provisão de água externa para a hidratação da pasta (HASPARYK et al., 2005).

Soluções para prevenir a retração autógena estão sendo propostas, como por exemplo, a incorporação de agregados leves saturados, criando uma “cura interna”. Esses agregados irão atuar como reservatórios de água que liberam água quando a umidade relativa do concreto cai. Tudo isso para tentar impedir a auto dessecação da pasta, que é a maior causa da retração autógena do concreto (HASPARYK et al., 2005).

2.2.4 Retração por Secagem ou Retração Hidráulica

Entende-se por retração por secagem da pasta de cimento às variações volumétricas que ocorrem ocasionadas por perda de massa, isto é, por evaporação da água excedente do processo de hidratação, após o período de cura. O fenômeno da retração por secagem pode ser considerado o principal responsável pela deterioração das estruturas de concreto (SENISSE, 2010).

A retração por secagem é tida como um fenômeno inevitável em estruturas de concreto armado em ambientes cuja umidade está abaixo da condição de saturação, pois o fenômeno decorre devido à perda de água das estruturas de concreto para o ambiente.

A grande diferença entre a retração por secagem e a retração autógena é que a retração por secagem acontece da superfície para dentro e a retração autógena é isotrópica, suas propriedades existem independente da direção considerada. Esse tipo de retração acontece depois do fim da pega do cimento e ocorre devido à redução de volume causada pela evaporação da água dos poros do concreto.

Segundo Aïtcin (1997) a retração por secagem se inicia na superfície do concreto e progride com certa rapidez através do concreto, dependendo da umidade relativa do ar e do tamanho dos capilares. Em concretos comuns a secagem é rápida, pois a rede de capilares é bem ligada e contém capilares grossos. Ao contrário do que acontece em concretos de alto desempenho, cuja secagem é lenta, pois os capilares são muito finos e se desligam rapidamente.

A retração por secagem está relacionada à movimentação da água por evaporação ou pela sua absorção por capilaridade, permeabilidade ou ainda por condensação capilar (COUTINHO, 1994). A Figura 13 exibe a relação entre a perda de massa e a retração por secagem do concreto, sendo dividida em 5 domínios:

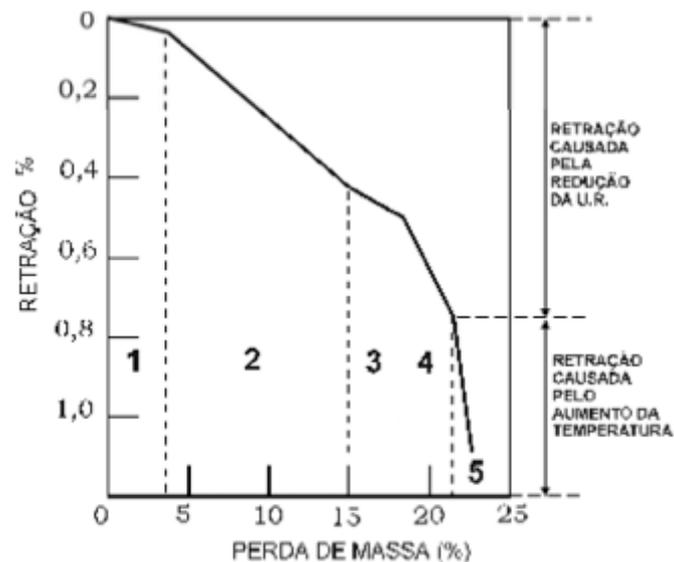


Figura 13: Relação entre perda de massa e retração hidráulica.
 Fonte: Mindess e Young¹⁰ (1981 *apud* Nunes e Figueiredo, 2007).

- Domínios 1 e 2: perda de água retida nos vazios capilares;
- Domínio 3: perda de água adsorvida fisicamente aos cristais de C-S-H;
- Domínio 4: perda de água interlamelar, que contribui na estrutura do C-S-H;
- Domínio 5: perda de água quimicamente combinada - decomposição dos produtos de hidratação.

Para Mehta e Monteiro (2014) a retração por secagem pode ser reversível, onde a fração reversível está relacionada a perda de água dos domínios 1 e 2 e a retração irreversível, provavelmente, resultado da formação de ligações químicas dentro da estrutura do C-S-H, perda de água dos domínios 3 a 4.

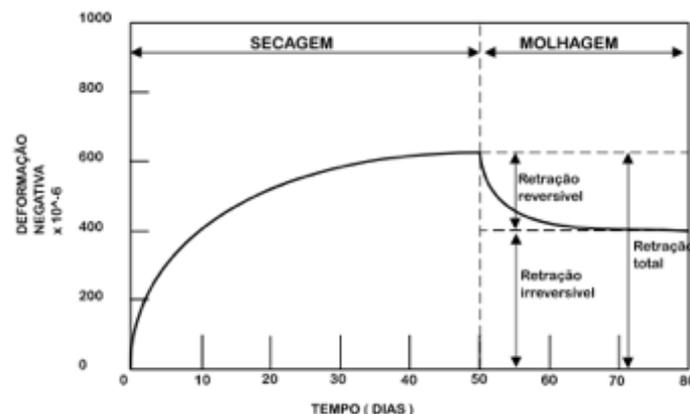


Figura 14: Irreversibilidade da retração por secagem.
 Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

¹⁰ MINDESS, S. ; YOUNG, J.F. **Concrete**. London: Prentice-Hall, 1981.

Muitos são os fatores que podem intervir na retração por secagem, dentre elas:

- a) Umidade relativa do ar: quanto maior a umidade relativa do ar, menor será a retração hidráulica, sendo que o concreto perde umidade lentamente, mas absorver rapidamente a umidade do ambiente, ocorrendo o processo de expansão hidráulica (NEVILLE, 2010);
- b) Agregados: Os agregados afetam a retração do concreto através da demanda de água, da sua dureza, da concentração volumétrica e da interação entre pasta e agregado, onde agregados maiores resultam em uma menor retração. Acredita-se também que o módulo de elasticidade do agregado, para concretos em geral, está ligado à retração hidráulica. Quanto menor o módulo de elasticidade do agregado, maior será a retração do concreto (ANDRADE, 1997);
- c) Consumo de cimento: De acordo com alguns estudos, quanto maior o consumo de cimento em uma mistura, maiores serão os valores da retração (TAVARES, 2008);
- d) Geometria da peça: A retração diminui com o aumento das dimensões das peças, ou seja, quanto maior a relação à área em relação a espessura da peça maior será a retração.

2.2.5 Retração Térmica

É uma deformação devida à contração térmica que ocorre quando o concreto quente é resfriado à temperatura ambiente. Ocorre geralmente em elementos com grande volume de concreto. Ela tem origem após a ocorrência do pico de evolução da temperatura por acúmulo de calor de hidratação e ao sofrer aquecimento por uma fonte de calor externa (TAVARES, 2008).

Esse tipo de retração se desenvolve após o concreto de alto desempenho sofrer a retração plástica e autógena, antes de ser submetido à retração por secagem. Podem ser de origem interna ou externa, A retração térmica de origem interna está associada à liberação de calor das reações de hidratação do cimento. Ocorrem nas primeiras idades (entre 1 dia e três semanas após a concretagem. Já a origem externa está relacionada à variação de temperatura ambiente que promove a contração ou/e dilatação do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

2.2.6 Retração Por Carbonatação

Causada pela reação da pasta de cimento hidratada com o dióxido de carbono no ar na presença de umidade. De acordo com Helene e Andrade (2007), a Portlandita, Ca(OH)_2 , é o composto mais susceptível à carbonatação. A sequência de secagem e carbonatação afetam significativamente o valor total da retração. Carbonatação e secagem simultâneas produzem retração menor do que quando a secagem é seguida pela carbonatação.

Para Coutinho (1994) as causas da retração por carbonatação estão relacionadas à combinação do bióxido de carbono da atmosfera com os componentes hidratados do cimento, especialmente do hidróxido de cálcio, que origina produtos sólidos com volume inferior à soma dos volumes do bióxido de carbono com os componentes hidratados.

2.3 SOLUÇÕES MITIGADORAS

Como forma de prevenir ou mitigar os diferentes tipos de retrações pode-se adotar diferentes tipos de soluções mitigadoras, dentre elas soluções internas e externas ao concreto, ou seja, soluções de dosagem do concreto (internas) e soluções construtivas (externas).

O emprego de soluções externas está relacionado com o controle do processo de cura do concreto, como evitar a fuga rápida e excessiva da água do concreto, tendo como medidas já citadas anteriormente e mais empregadas: umedecimento das formas, realização de cura da superfície com água, ou com uma membrada impermeável.

As soluções internas estão relacionadas a redução das tensões internas decorrentes dos processos de hidratação e movimentação da água no interior do concreto e estão correlacionadas a incorporação de diferentes materiais ao concreto ainda durante o processo de mistura e dosagem do mesmo. Comumente são empregadas como soluções internas:

- A cura interna é um processo ainda em estudo que pode ser adotado de forma a reduzir as retrações por secagem e plástica, sendo que para esse fim podem ser adicionados ao concreto partículas de polímeros superabsorventes em forma de micropartículas ou em gel, e o emprego de agregados leves como componentes da dosagem do concreto (SENISSE, 2010).
- Como forma de reduzir a velocidade de fuga da água, mas não considerado como uma cura interna e sim como uma barreira física tem-se o emprego de

diferentes tipos de fibras ao concreto, onde além de uma barreira física as fibras podem “costurar” as fissuras existentes no concreto (SILVA, 2011).

Atualmente diferentes aditivos veem sendo empregados em materiais cimentícios, como forma de compensar ou reduzir as retrações, no entanto, no Brasil poucos estudos estão sendo realizados nessa área (MELO NETO, 2008).

Os aditivos compensadores de retração atuam como expansores dentro da mistura cimentícia, onde durante o processo de hidratação do cimento e redução do volume original os expansores aceleram a formação de etringita, de forma que a mesma, ocupe o volume vazio. Esses aditivos são geralmente a base de sulfoaluminato de cálcio e a base de cal virgem, dentre os aditivos a base de sulfoaluminatos são encontrados os cimentos aluminosos e expansivos (MEHTA e MONTEIRO, 2014), adições a base de cal virgem são pouco empregados devido a imediata reação com a água.

Os aditivos redutores de retração são recentes no mercado e apresentam poucos trabalhos a seu respeito, além de pouca divulgação da sua matéria prima, sendo na sua maioria líquidos a base de glicol. Alguns estudos mostram que os redutores de retração atuam como um modificador da tensão capilar dos poros, alterando dessa forma a interação água/grão anidro de cimento (MELO NETO, 2008).

2.3.1 Ativo Redutor de Retração (SRA)

Os aditivos redutores de retração (em inglês, *shrinkage-reducing admixtures* – SRA), inicialmente desenvolvidos para reduzir a retração por secagem, foram investigados pela primeira vez no Japão no início dos anos 80 (SATO, 1997). De uma forma geral, estes aditivos são orgânicos, com substâncias de superfícies ativas, que incluem éter propilenoglicol, dióis alcanos e éter polialifáticos ou éter cicloalifático; e apresentam baixa viscosidade.

Há vários tipos de SRA comercialmente disponíveis, e embora não tenham a mesma composição química, são similares em natureza e todos agem diminuindo a tensão superficial do fluido nos poros da pasta de material cimentícios. Alguns aditivos podem ser aplicados na superfície do concreto, como solução tópica para minimizar o efeito da retração (LOPES, 2011).

O SRA influencia a tensão de superfície e a viscosidade da solução no poro. As tensões capilares dentro de um concreto parcialmente saturado serão geradas na solução aquosa remanescente na solução do poro, assumido como cilíndrico. Reduzindo a magnitude da tensão superficial, da água do poro tem-se a redução da pressão capilar exercida pela mesma e por

consequência a diminuição da retração (LOPES, 2011). Pode-se afirmar que o aditivo redutor de retração tem efeito ao longo do tempo e combate à retração à medida que a mesma for surgindo, pois interfere na tensão superficial da água que, por sua vez, tem papel fundamental na evolução das reações de hidratação. O aditivo compensador de retração (SCA) tem efeito no combate à retração em determinados intervalos de tempo, geralmente nas idades iniciais (MELO NETO, 2008).

Diversos autores, dentre eles Collepardi *et al.* (2005), Folliard e Berke (1997) e Fonseca Silva (2007), verificaram a viabilidade do emprego do SRA na retração por secagem e autógena dos concretos e chegaram a conclusão que valores de incorporação de 1,0% a 2,0% do redutor de retração são suficientes para reduzir a retração dos concretos, e adições superiores a 2,0% podem prejudicar a trabalhabilidade, devido ao aumento da fluidez que poderiam acarretar a segregação do material.

Apesar da pouca divulgação, os aditivos redutores têm alguns efeitos negativos, o principal é que a ação de reduzir a tensão superficial implica na alteração de algumas propriedades da mistura cimentícia. O retardo do início da pega e a redução da resistência à compressão são as mais divulgadas e comprovadas, tendo como possível explicação que a redução da tensão superficial pode reduzir também a força de atração entre as partículas na fase de floculação do aglomerante, afetando as propriedades citadas anteriormente (BROOKS *et al.*, 2000).

2.3.2 Aditivo Compensador de Retração

A primeira tentativa de prevenir a retração do concreto foi o desenvolvimento de estudos sobre cimentos expansivos e aditivos expansores, realizados quase que totalmente em países estrangeiros (MELO NETO, 2008).

O princípio do aditivo expansor é induzir o surgimento de tensões de compressão de modo a compensar o surgimento de tensões de tração resultantes da restrição da retração. Neste tipo de aditivo, o principal responsável pela expansão induzida é a formação da etringita, uma espécie química normalmente considerada inconveniente, por causar danos muitas vezes irreversíveis quando formada após o endurecimento do concreto (META e MONTEIRO, 2014).

Em meados dos anos 70, o Comitê do American Concrete Institute (ACI 223, 1970) já indicava duas utilizações principais para o cimento expansivo, classificadas de acordo com a magnitude da expansão e a sua aplicação:

- a) Controle da retração - a restrição da expansão causada pelo cimento induz uma tensão de compressão compensando a tensão de tração gerada pela retração por secagem;
- b) Protensão química - a tensão de compressão induzida pela hidratação do cimento expansivo deve ser de magnitude elevada o suficiente para que, mesmo após a retração, resulte em uma tensão residual de compressão significativa propiciando a protensão da estrutura.

Os cimentos expansivos existentes no mercado mundial são classificados de acordo com os seus agentes expansores e seu mecanismo de expansão. Nos Estados Unidos, a norma define três tipos de cimentos expansivos (MEHTA e MONTEIRO, 2014):

- a) Tipo K: Cimento Portland misturado com sulfoaluminato de cálcio anidro ($3\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaSO}_4$), anidrita (CaSO_4) e cal virgem (CaO).
- b) Tipo M: Cimento Portland misturado com cimento aluminoso e anidrita (CaSO_4) em proporção adequada.
- c) *Tipo S*: Cimento Portland comum formulado para apresentar elevada quantidade de aluminato tricálcico (C3A) e adicionado um excesso de anidrita (CaSO_4)

Atualmente, os aditivos expansores são denominados de aditivos compensadores de retração (SCA). Dentre a grande maioria dos aditivos compensadores comercialmente existentes, os dois tipos principais são à base de sulfoaluminato de cálcio e à base de cal virgem. Os aditivos à base de sulfoaluminatos de cálcio são os mais usados, pois os aditivos à base de cal virgem são de difícil controle em razão da sua quase que imediata reação quando em contato com a água (MORIOKA et al., 2003, YAMAMOTO et al., 2003).

A formação da etringita em concretos com aditivos expansores à base de sulfoaluminato de cálcio se dá nas primeiras idades e esta expansão deve ser restringida por tensões contrárias à tensão gerada pela retração, para que seja compensada e evitada a formação de fissuras (REPETTE et al., 1998).

Os aditivos SCA com base de sulfoaluminato são produzidos em processos nos quais a sinterização da matéria prima é realizada de forma a proporcionar a expansão após o ganho de resistência mecânica (YAMAMOTO et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2013).

O uso dos concretos expansivos praticamente não existe no Brasil, porém nos Estados Unidos, Japão e Europa os concretos com aditivos expansores têm sido usados para os mais

variados fins, como pavimentos, lajes pré-fabricadas, lajes quimicamente protendidas, pontes, reservatórios, etc. (MELO NETO, 2008).

2.3.3 Fibra Polimérica

A fibra de polipropileno é um derivado do petróleo e foi introduzida no mercado em 1957, sendo a segunda resina de maior produção mundial. É produzida num catalizador sob temperaturas de 50 a 80 0C e pressões de 5 a 25 atm. (PILLAR, 2014).

O emprego de fibras sintéticas como auxiliares no combate ou redução das fissuras de retração plástica tem sido largamente difundido por diversos pesquisadores, embora o mecanismo pelo qual isso ocorra não seja bem conhecido. Há vertentes que advogam que os complexos mecanismos de redução das pressões nos poros capilares desempenham importante papel na redução da retração e, conseqüentemente, das fissuras, enquanto outros preferem atribuir às fibras a redução dos efeitos danosos da retração, como a redução da proliferação da fissura, conhecido como método de “costura” (SENESSI, 2010).

As fibras de polipropileno influenciam o comportamento do compósito cimentício (argamassa e concreto) tanto no estado fresco, como no endurecido. No estado fresco tais fibras podem diminuir a trabalhabilidade, inibem a exsudação e a segregação devido à sua grande área superficial, acumulando água em sua superfície por adsorção, bem como impedem a fissuração por retração plástica nas primeiras idades. Enquanto que na fase endurecida, tais fibras podem atenuar as microfissuras por transferência das tensões de tração; e se a resistência do compósito for atingida e as microfissuras ocorrerem, as fibras restringem a abertura e a expansão das fissuras (PILLAR, 2014).

Matrizes mais ricas (alta relação cimento/areia) respondem mais eficientemente à adição de fibras e o concreto leve apresenta maior potencial de redução de fissuras do que o convencional, quando são empregados teores e tipos idênticos de fibras (BALAGURU, 1994).

O mecanismo principal de atuação das fibras pode ser modelado como (ARAÚJO, 2005):

- a) O concreto simples, logo após o lançamento, é fluido. Aos poucos o concreto endurece e com isso perde a sua fluidez e, conseqüentemente, reduz sua capacidade de deformação.
- b) Em contrapartida, com a evaporação da água de exsudação, a retração aumenta até que em um determinado momento o nível de deformação de retração é

maior do que a capacidade do concreto de absorver estas deformações, e então as fissuras aparecem.

- c) O concreto com fibras de polipropileno de elevado nível de deformação e de baixo módulo é mais deformável nas primeiras idades. As fibras transferem a sua natural capacidade de deformação para o concreto. A deformação de retração pode ser a mesma, porém não maior do que a capacidade do concreto em absorvê-las. Assim, as fissuras são inibidas ou sua frequência e tamanhos são reduzidos.

A Figura 15 ilustra o mecanismo de combate a retração pela incorporação de fibras de polipropileno.

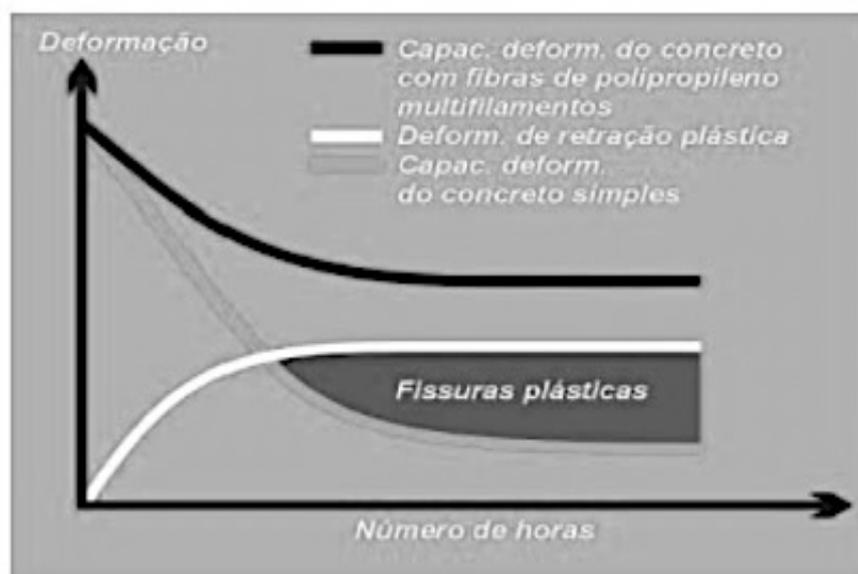


Figura 15: Mecanismo de combate às fissuras de retração plástica com a incorporação de fibra de polipropileno.

Fonte: FITESA¹¹ (2002, apud Araújo, 2005).

2.3.4 Polímeros Superabsorventes

A palavra polímero vem da junção das palavras gregas *poli* (muitas) e *mero* (partes), então, o polímero é uma macromolécula que está composta por milhares de unidades de repetição denominadas meros, ligados por ligação covalente. Assim, para que aconteça a reação de polimerização, cada manômero, no mínimo, tem que ter a capacidade de se combinar com outros dois monômeros; portanto, o polímero faz referência ao material formado por essas macromoléculas (ORDÓÑEZ, 2013).

¹¹ FITESA. Materiais compósitos e fibras de polipropileno. Boletim Técnico nº1. Gravataí (RS), 2002.

Existe no mercado uma grande quantidade de tipos de polímeros, os quais são derivados de diferentes compostos químicos. Dentre dos diferentes polímeros, encontram-se os polímeros superabsorventes (SAP), que constituem uma classe de polímero que possui grande afinidade pela água. Quanto à sua composição química, os polímeros são reticulados polieletrólitos que começam a inchar em contato com água ou soluções aquosas, Figura 16, e são baseados em poliacrilatos interligados por ligações covalentes cruzadas, ou poliacrilatos/poliacrilamidas copolimerizados (ONGHERO, 2013).

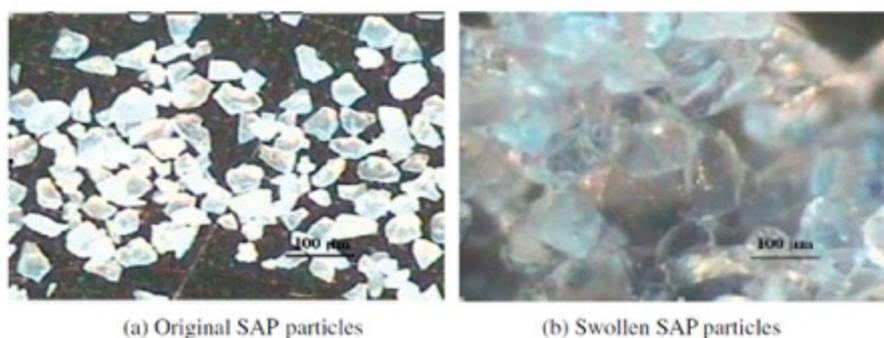


Figura 16: Morfologia das partículas de SAP por microscópio óptico.
Fonte: Yao et. al.¹² (2011 *apud* Ordóñez, 2013).

O líquido absorvido pelo polímero não é liberado sob ação de pressão moderada, mas sim conforme a umidade relativa do ambiente em que se encontra. Diversos mecanismos estão envolvidos na transição da fase seca para a saturada. Essa transição é resultado de um balanço das forças repulsivas que atuam expandindo a rede polimérica, e forças atrativas que agem encolhendo a rede. O interior do SAP possui uma alta concentração de íons, que induzem a entrada da água para seu interior por osmose.

Em tese, os polímeros utilizados para absorção, podem absorver uma quantidade de água de até 1500 vezes o seu próprio peso seco, mas em soluções com grandes quantidades de íons dissolvidos (como no caso do concreto) a capacidade de absorção limita-se a aproximadamente 20 vezes. Para o concreto, praticamente toda a água absorvida pelo SAP pode ser considerada como quimicamente disponível para reagir com o cimento (KOVLER e JENSEN, 2005).

A utilização de SAP surgiu como componente de absorventes higiênicos sendo rapidamente disseminado no mercado, onde seu consumo cresceu rapidamente, ainda sendo a principal utilização em produtos higiênicos. Recentemente, a partir dos anos 2000, estudos propuseram a aplicação do SAP como medida de cura interna do concreto. Antigamente era

¹² YAO, Y; ZHU, Y; YANG, Y. Incorporation superabsorbent polymer (SAP) particles as controlling pre-existing flaws to improve the performance of engineered cementitious composites (ECC). **Construction and Building Materials** 28, 2011. PP. 139– 145.

aplicada a cura interna para promover a hidratação do cimento e controlar a retração do concreto durante o endurecimento. Nesse processo utilizava-se o agregado saturado leve (*Saturated lightweight aggregate*, PTM). Porém ocorriam problemas ligados à sua adição, como a redução significativa do módulo de elasticidade a qual foi minimizada com a utilização do SAP (JENSEN, 2008).

Jensen e Hansen (2002) analisaram o efeito da cura interna a partir da aplicação de partículas de polímeros superabsorventes (SAP e hydrogel) como adições, em concretos de alto desempenho. Os resultados demonstraram uma redução das deformações devido à retração autógena e uma minimização da fissuração durante o processo de endurecimento do material.

Comumente as dimensões dos grãos de SAP utilizados para cura interna estão entre 125 e 250 μm no estado seco, e crescem aproximadamente 3 vezes quando saturados. Pesquisas indicam que há uma faixa ideal de tamanho de partículas de SAP, aproximadamente 100 μm no estado seco, para que tenham eficiência otimizada no combate à retração (Lura et. al., 2006).

Quando as partículas são maiores, estas podem não suprir todas as partes da pasta de cimento com água durante a hidratação. Partículas grandes podem também ter uma eficiência reduzida pela falta de tempo suficiente para sua plena saturação durante a mistura.

Em contrapartida, partículas extremamente pequenas podem ser também pouco eficientes pelo efeito de absorção de produtos de hidratação do cimento, ou pela menor atividade da superfície do polímero (JENSEN e HANSEN, 2002). A distribuição granulométrica dos grãos de SAP influi ainda na reologia do material cimentício.

A utilização de SAP para cura interna aumenta a porosidade final da pasta, o que comumente diminuiria a resistência e durabilidade do concreto. Porém, a natureza desta porosidade é significativamente modificada pela adição do SAP: os poros vazios, gerados pela autosecagem numa pasta de cimento sem inclusão de SAP, são irregulares e parcialmente conectados. Ao contrário, os poros vazios gerados em uma pasta modificada pela inclusão de partículas de SAP serão, em sua maioria, esféricos desconectados e de forma definida. Deste modo, espera-se que a durabilidade seja superior nas misturas com SAP (ONGHERO, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão apresentados a caracterização dos materiais, procedimento de preparo e dosagem do concreto e os procedimentos de ensaios das características avaliadas, assim como a forma de análise dos dados.

O objetivo desta pesquisa é indicar quais as melhores adições que ao serem empregadas, durante a dosagem e preparo de um concreto autoadensável, que incrementem a qualidade do concreto quando da falta de cura do concreto, mitigando a retração autógena e total por secagem. O estudo consistiu em verificar o desempenho, o comportamento do concreto fresco e endurecido, quando os mesmos foram dosados com diferentes tipos de aditivos mitigadores de retração. Para cada análise do comportamento no estado fresco foram realizados os ensaios de: fluidez pelo Slump Flow, perda de fluidez com o tempo de aplicação, e habilidade passante pelo método do Anel-J. E para análise do comportamento no estado endurecido foram realizados os seguintes ensaios: resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias, módulo de elasticidade aos 7 e aos 28 dias e análise da absorção total do concreto.

Para obter os resultados a pesquisa foi dividida em quatro etapas, sendo que ao final foi possível comparar e analisar o desempenho das adições mitigadoras, e chegar a conclusão sobre qual ou quais são as adições mais vantajosas, ou seja, que combina o melhor desempenho tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

A primeira etapa compreende a caracterização dos materiais quanto as propriedades necessárias para utilização como matéria prima do concreto, sendo caracterizados os agregados, os cimentos e as adições empregadas, conforme Figura 17.



Figura 17: Fluxograma etapa 1.

A segunda etapa corresponde ao estudo de dosagem do concreto autoadensável (CAA) ao ser empregado na pesquisa, sendo que foi empregado uma dosagem baseada no método de Gomes, com etapas definidas na Figura 18, sendo que para o traço piloto encontrado nessa etapa foi empregado as soluções de mitigação de retração.

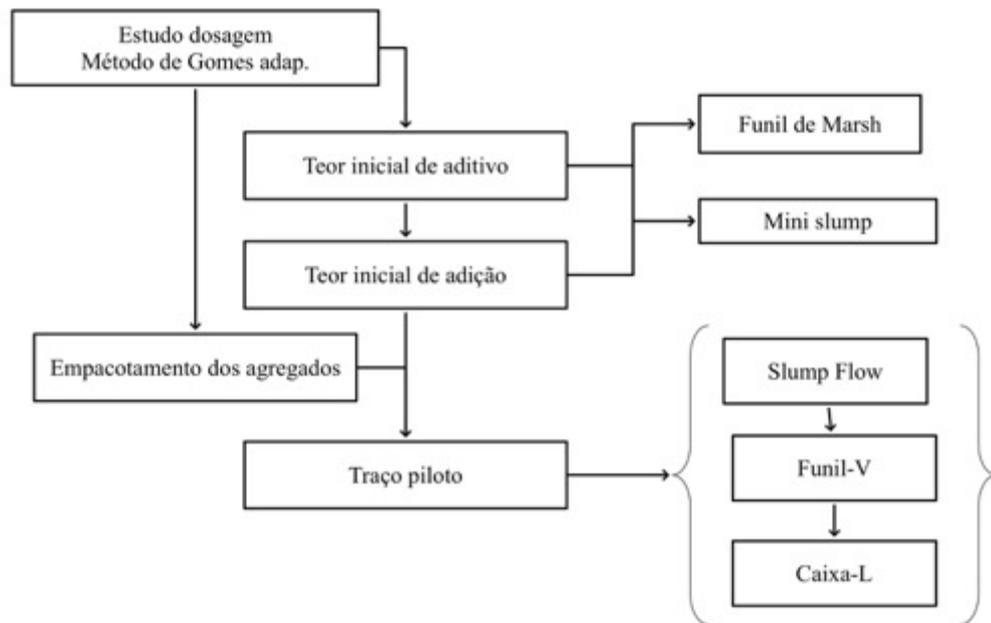


Figura 18: Fluxograma etapa 2.

A terceira etapa corresponde a realização da dosagem de todas as variáveis de análise e realização dos ensaios no estado fresco e endurecido, nessa etapa foi realizada a confecção de CAA com diferentes cimentos combinados com as adições mitigadoras. Os concretos confeccionados foram expostos à ensaios no estado fresco e no estado endurecido, Figura 19 e Figura 20.

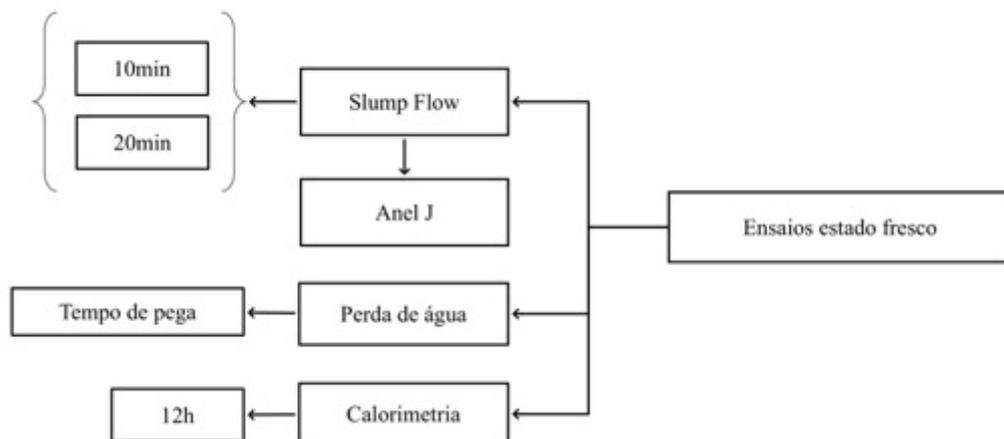


Figura 19: Ensaios estado fresco, etapa 3.

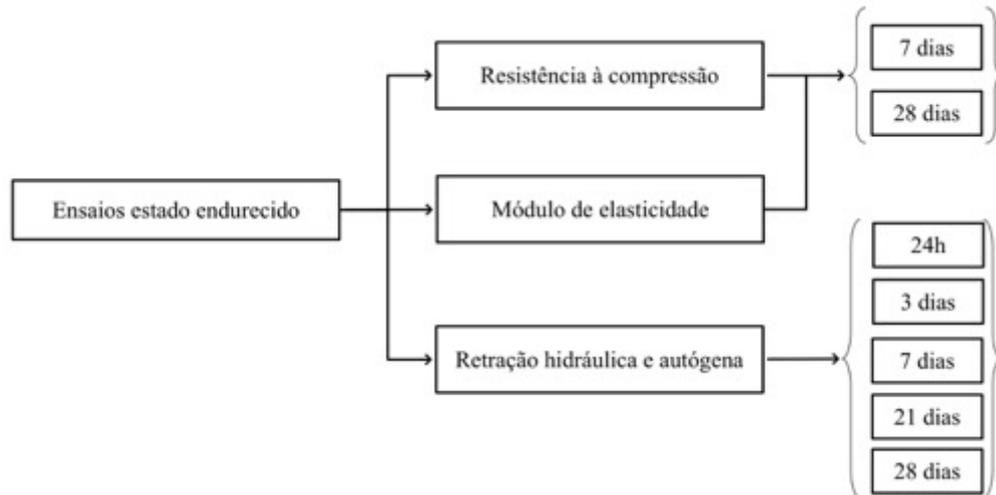


Figura 20: Ensaio estado endurecido, etapa 3.

A última etapa consistiu na análise estatística dos resultados dos ensaios da etapa três, e elaboração das discussões.

A metodologia empregada para a caracterização das matérias-primas, processo de dosagem do concreto autoadensável e realização dos ensaios, e baseada em normas técnicas regulamentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e procedimentos técnicos de instituições renomadas.

3.1 VARIÁVEIS DE ESTUDO

Para avaliar o desempenho dos aditivos e adições mitigadoras de retração em relação as propriedades do concreto autoadensável no estado fresco e no estado endurecido, foram utilizados quatro tipos diferentes de adições, misturadas ao concreto em três diferentes em concretos autoadensáveis produzidos com três tipos de cimento.

Foram empregados os cimentos disponíveis comercialmente na cidade de Pato Branco, localizada na região sudoeste do Paraná, para que fosse possível disseminar a pesquisa entre o meio técnico.

Os cimentos foram escolhidos baseado nas suas composições químicas, pois estudos como os preconizados por Ferraz (2009), Melo Neto (2008) e informações da bibliografia como Mehta e Monteiro (2014), Tazawa e Miyazawa (1995), recomendações da Cement Concrete and Aggregates Austrália (2002) de que cimentos com teor de C_3A superior à 7% e um teor inferior à 1,8% de anidrido sulfúrico (SO_3), tendem a acelerar o processo de retração.

Dessa forma foram empregados:

- 1C – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, CP V ARI;

- 2C – Cimento Portland Composto com Pozolana, CP II-Z 32;
- 3C – Cimento Portland Composto com Escória de Alto Forno, CP II-E 32.

As soluções mitigadoras empregadas foram escolhidas com base na disponibilidade e técnicas de dosagem já empregadas no Brasil, sendo:

- 0D – Controle, confecção do concreto de referência sem nenhuma adição;
- 1D – Aditivo Redutor de Retração, SRA;
- 2D – Aditivo Compensador de Retração, CSA;
- 3D – Microfibra de polipropileno;
- 4D – Polímero Superabsorvente, SAP.

O aditivo redutor de retração ainda é pouco utilizado no Brasil e foi empregado o único tipo de aditivo comercializado, como aditivo compensador de retração, foi utilizado um cimento sulfaluminoso, importado do Japão, pois o Brasil não apresenta regulamentação desse material. Já a adição de microfibra de polipropileno ao concreto, é uma técnica já difundida entre as empresas que concretam pisos industriais. Enquanto que o polímero superabsorvente ainda é pouco empregado em CAA.

Os teores das adições utilizada foram baseadas na indicação dos fabricantes e análise bibliográfica de pesquisas já realizadas. Para cada adição foi empregado três teores, entre faixas de estudos de outros autores, denominados como inferior, superior e intermediário. A escol

Para o emprego do redutor de retração (SRA) o fabricante não indica dosagens superiores a 2% em relação a massa de cimento e considera que as propriedades de redução da retração são lineares para os teores de 1 a 2,5%. Pesquisas realizadas por Melo Neto (2008) e Lopes (2011) mostraram a eficiência do emprego da adição em teores de 1 e 1,5%, sendo, portanto, adotado nessa pesquisa:

- 1T – Limite inferior, 1% de adição à massa de cimento;
- 2T – Limite superior, 2% de adição à massa de cimento;
- 3T – Limite intermediário, 1,5% de adição à massa de cimento.

Para o emprego do aditivo compensador de retração (CSA) o fabricante indica uma adição de 7% em relação à massa de cimento como teor ideal de mitigação. Pesquisas realizadas por Melo Neto (2008) demonstraram que não existe diferença significativa na mitigação da retração entre os teores de 10 e 15% de adição e elevada mitigação ente os teores de 5 e 10%, para Rodrigues (2011) o teor de 3,5% é suficiente para mitigar a retração em concretos. Portanto, nesse estudo serão empregados os seguintes teores:

- 1T – Limite inferior, 3% de adição à massa de cimento;

- 2T – Limite superior, 7% de adição à massa de cimento;
- 3T – Limite intermediário, 5% de adição à massa de cimento.

O teor de microfibras de polietileno é indicado entre 300 e 600 gramas por metro cúbico de concreto, embora pesquisas realizadas por Senisse (2010) mostrem que 300g não é suficiente para mitigar a retração, sendo recomendado valores entre 600 e 900 gramas por metro cúbico em concretos convencionais, nessa pesquisa foram empregados:

- 1T – Limite inferior, 220 gramas por metro cúbico, relativo à 0,05% em relação a massa de cimento;
- 2T – Limite superior, 660 gramas por metro cúbico, relativo à 0,15% em relação a massa de cimento;
- 3T – Limite intermediário, 440 gramas por metro cúbico, relativo à 0,10% em relação a massa de cimento.

Em relação ao polímero superabsorvente por se tratar de um material pouco utilizado no Brasil como adição ao concreto e de difícil obtenção, utilizou-se como referência para determinação dos teores de adição, a pesquisa desenvolvida por Backnang (2013) onde foram estudados concretos com adição de diferentes SAP entre 0,25 e 0,55% em relação à massa de cimento, sendo que os valores adotados nessa pesquisa foram:

- 1T – Limite inferior, 0,10% de adição à massa de cimento;
- 2T – Limite superior, 0,20% de adição à massa de cimento;
- 3T – Limite intermediário, 0,15% de adição à massa de cimento.

Os teores de SAP ficaram abaixo do recomendado por Backnang, pois o mesmo estudo o efeito do polímero em concretos convencionais, e por se tratar de um CAA, resolveu-se trabalhar com adições inferiores ao limite utilizado no trabalho devido à elevada retenção de água do polímero.

3.2 MATERIAIS

3.2.1 Cimentos

A escolha do cimento se deu em função das diferentes composições químicas, e também em função da disponibilidade de compra na região de Pato Branco – PR. Por essas razões foram utilizados três cimentos sendo: CP II-Z 32, CP II-E 32 e CP V ARI.

A caracterização do cimento foi baseada nas propriedades que influenciam na retração das pastas ou concretos confeccionadas com o mesmo, sendo caracterizado, portanto quanto:

- a) Massa específica: Determinado pela ABNT NM 23– Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica (2001);
- b) Área superficial (Blaine): Determinado pela ABNT NM 76– Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine) (1998);
- c) Tempo de pega: Obtida junto ao fabricante e realizada conforme ABNT NM 65 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega (2003);
- d) Análise química quantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios-X;
- e) Análise mineral qualitativa por difratometria de raios-X.

A Tabela 6 apresenta os resultados das propriedades dos cimentos utilizados. Os ensaios de massa específica e blaine foram realizados no laboratório de Materiais do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Pato Branco-PR e o tempo de pega foi obtido junto ao fabricante.

Tabela 6: Características dos cimentos utilizados.

Cimento	Massa Específica (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Tempo de pega (min)	
			Início	Final
CP II – Z 32	3,05	3651	274	347
CP II – E 32	2,96	4242	175	248
CP V ARI	3,09	4282	201	240

Os ensaios de Análise química quantitativa e difratometria foram realizados no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas da Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Curitiba-PR. A Tabela 7 mostra a composição química do cimento realizada pela técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X.

Tabela 7: Características químicas dos cimentos utilizados.

Amostra	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	P.F. (%)	Soma (%)
CP II Z	53,35	21,63	5,88	2,73	6,01	2,71	1,01	0,28	0,09	0,29	0,04	6,12	100,13
CP II E	53,59	23,15	6,38	2,60	3,36	2,60	0,86	0,26	0,12	0,36	0,13	6,54	99,95
CP V ARI	60,77	19,59	4,50	2,73	4,48	3,11	0,93	0,28	0,17	0,26	0,03	3,35	100,20

Fonte: LAMIR (2016a).

Baseando-se na Lei de Bogue e da análise química foram realizados o cálculo de estequiometria da composição do clínquer, conforme Equação 1, resultando na Tabela 8.

$$\begin{aligned}
 C_3S &= 4,071CaO - 7,60 SiO_2 - 6,718Al_2O_3 - 1,43Fe_2O_3 \\
 C_2S &= 2,867SiO_2 - 0,7544C_3S \\
 C_3A &= 2,65Al_2O_3 - 1,692Fe_2O_3 \\
 C_4AF &= 3,043 Fe_2O_3
 \end{aligned}$$

Equação 1

Tabela 8: Composição do clínquer dos cimentos utilizados, com base em Bogue.

Amostra	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ A _F
CP II – Z 32	13,30	51,98	10,96	8,31
CP II – E 32	-0,64	66,85	12,51	7,91
CP V ARI	68,28	4,65	7,31	8,31

Os resultados da análise mineral qualitativa por difratometria de raios-X, são mostrados na

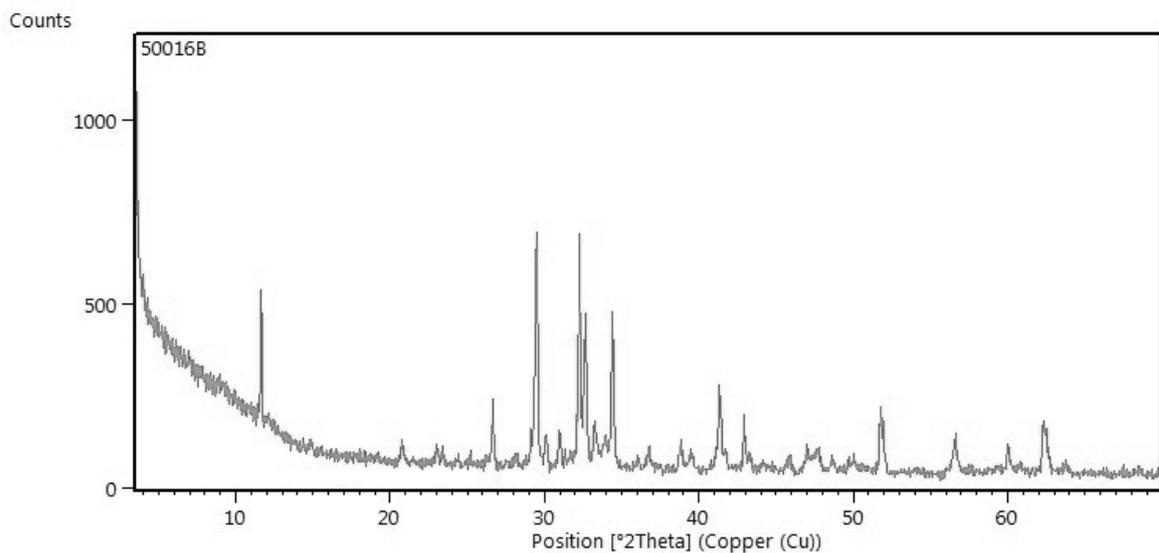


Figura 21: Difratograma CP II-Z 32.
Fonte: LAMIR (2016b).

Com base na Figura 21 foram encontrados os minerais: Hatrurita, Gipsita, Dolomita, Periclásio e Quartzo.

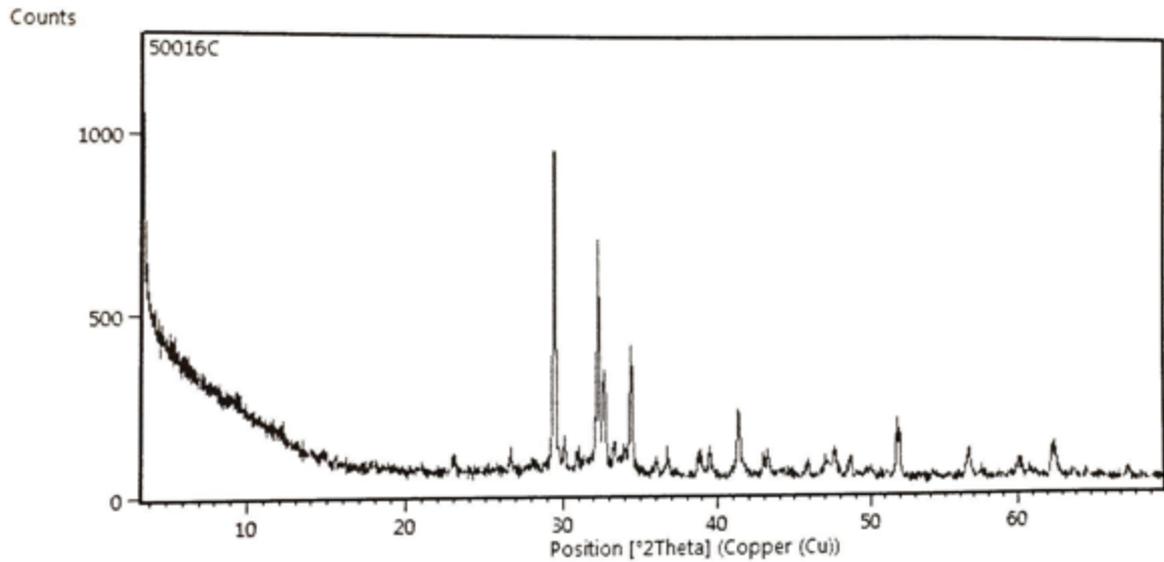


Figura 22: Difratoograma CP II-E 32.
Fonte: LAMIR (2016c).

Com base Figura 22 foram encontrados os minerais: Hatrurita, Periclásio, Calcita, Quartzo e Larnita.

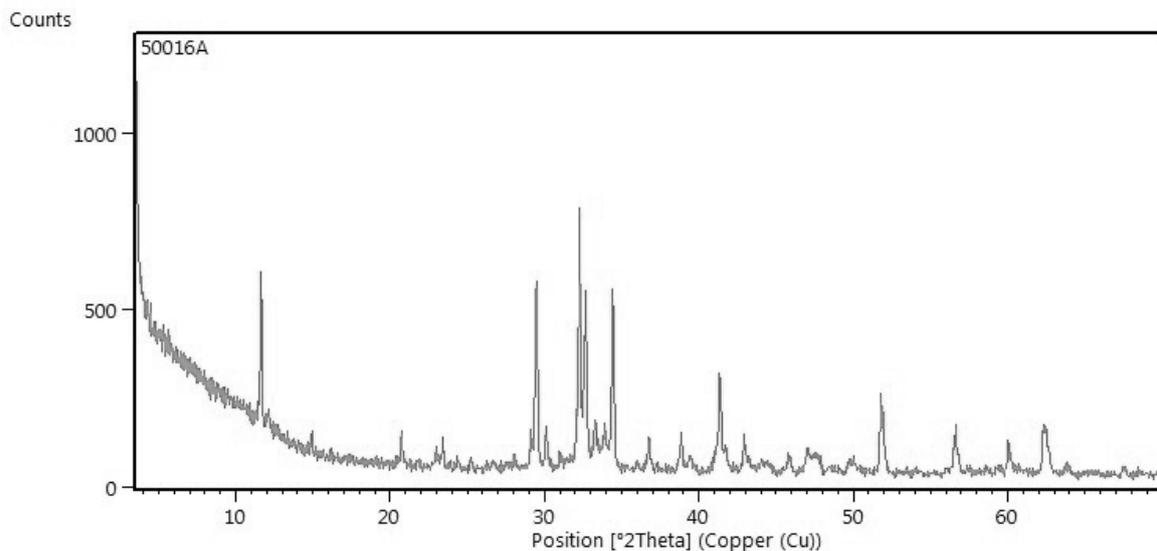


Figura 23: Difratoograma CP V ARI.
Fonte: LAMIR (2016d).

Com base na Figura 23 foram encontrados os minerais: Hatrurita, Gipsita, Periclásio, Quartzo, Calcita e Larnita.

3.2.2 Adição Minerais

Para a obtenção de um concreto autoadensável é necessário a utilização de uma adição mineral para garantir as propriedades de fluidez, coesão e resistência a segregação, no caso foi

utilizado a adição de filer calcário calcítico com as propriedades físico-químicas dadas na Tabela 9, obtidas com o fabricante e caracterizado em laboratório quanto:

- Massa específica: Determinado conforme ABNT NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica (2001);
- Área superficial (Blaine): Determinado conforme ABNT NM 76 – Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine) (1998);
- Análise mineral qualitativa por difratometria de raios-X.

Tabela 9: Características físico-químicas do filer calcário.

Aspecto	Umidade (%)	Redito #1,0mm (%)	Cálcio (%)	Magnésio (%)	Massa Específica (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)
Pó mineral inerte	Máx. 1	Máx. 5	Mín. 34,5	Máx. 1,8	2,73	4.445,85

A análise mineral qualitativa por difratometria de raios-X foi realizada no laboratório de análises químicas da UTFPR – Campus Pato Branco e é dada na Figura 24, onde é identificado um pico elevado de calcita.

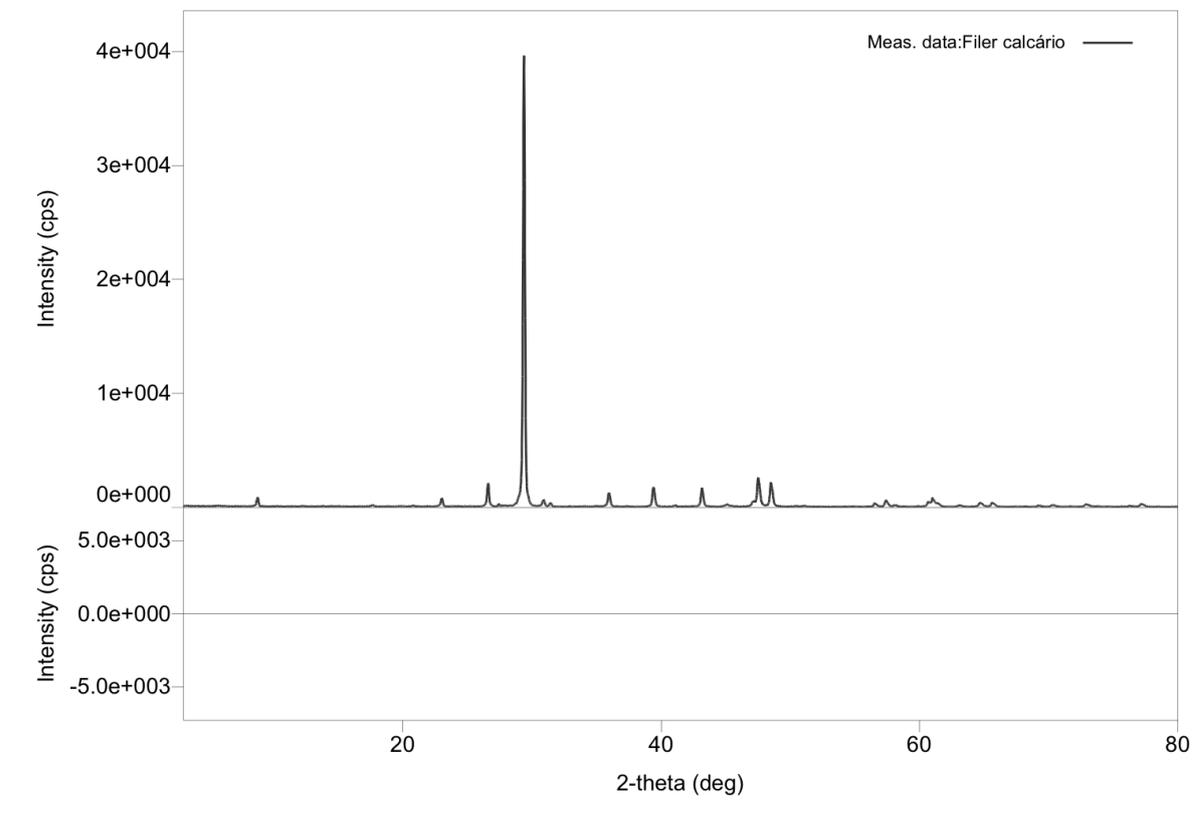


Figura 24: Difratograma filer calcário.

A escolha do filler calcário como adição ao concreto autoadensável deu-se pela disponibilidade, uma vez que o material foi doado pela empresa minérios Furquim de Curitiba-PR. Além da disponibilidade buscou-se utilizar uma adição mineral que não influenciasse quimicamente nas propriedades do CAA, uma vez que a reatividade química dessa adição poderia influenciar nos resultados de avaliação do desempenho das adições mitigadoras.

3.2.3 Agregados

Os agregados utilizados na pesquisa são provenientes das empresas de materiais de construção da cidade de Pato Branco-PR. Foram utilizados como agregado miúdo areia natural e como agregado graúdo brita basáltica com classificação comercial de pedrisco ou brita 0, sendo que todos os materiais foram utilizados sem nenhum processo de beneficiamento, lavagem ou composição por peneiramento. Todos os classificados quanto:

- a) Teor de material pulverulento: Obtido pela ABNT NM 46 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μ m, por lavagem (2003);
- b) Composição granulométrica e módulo de finura: Obtida pela ABNT NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica (2003);
- c) Massa específica aparente: Obtida pela ABNT NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente (2009); e ABNT NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica aparente e absorção de água (2009);
- d) Massa unitária compactada: Obtida pela ABNT NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios (2006).

Os resultados obtidos são visualizados na Tabela 10 e Figura 25.

Tabela 10: Caracterização dos agregados.

Agregado	Teor de material pulverulento (%)	Dimensões (mm)		Módulo de finura	Massa específica aparente (g/cm ³)	Massa unitária compactada (g/cm ³)
		Mín.	Máx.			
Areia natural	1,34	0,15	4,5	1,92	2,66	1,67
Pedrisco	0,20	2,75	9,5	5,83	2,76	1,66

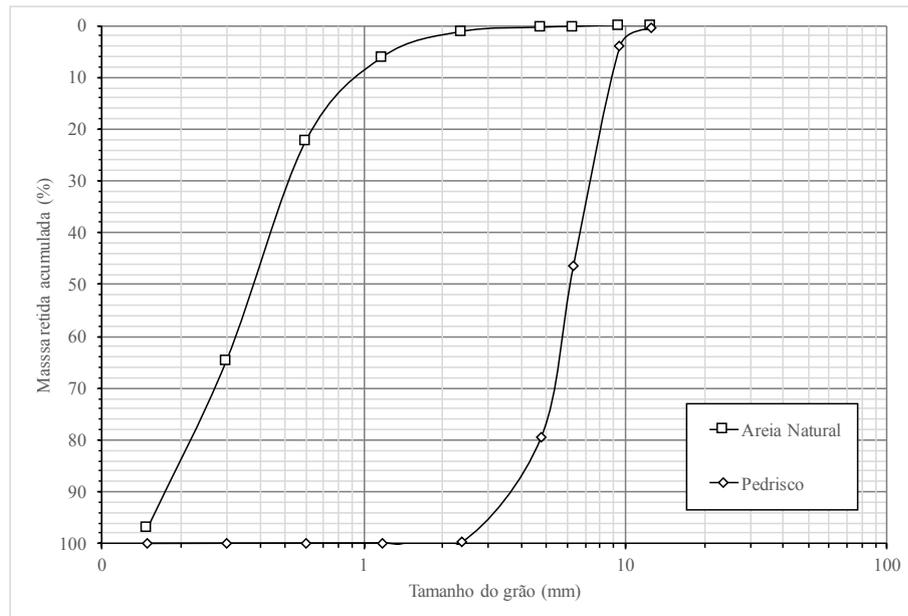


Figura 25: Curva granulométrica dos agregados.

3.2.4 Aditivo

O aditivo modificador utilizado para a confecção do concreto autoadensável (CAA) foi um redutor de água do tipo superplastificante com aplicações múltiplas e isento de cloretos, TEC-FLOW 7030, doado pela Grace Construction. O aditivo atende à ABNT NBR 11768 – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos (2011).

O aditivo utilizado tem como benefícios (GRACE, 2015):

- Redução acentuada da água de amassamento
- Aumento da fluidez com manutenção desta por tempo prolongado
- Facilita o adensamento e o lançamento concreto
- Aumento da coesão do concreto
- Reduz a permeabilidade
- Reduz retrações e fissuras de origem plástica;
- Melhora a aderência e a textura da superfície do concreto.

Foi realizado o ensaio de massa específica conforme indicativo da ABNT NBR 10908 – Aditivos para argamassa e concreto – Ensaio de caracterização (2008), com resultado expresso na Tabela 11.

Tabela 11: Caracterização do aditivo superplastificante.

Produto	Aspecto/Cor	Massa específica aparente (g/cm^3)
TEC-FLOW 7030	Líquido alaranjado	1,045

3.2.5 Adições Mitigadoras

Como forma de atender os objetivos propostos por esse trabalho, foram utilizados quatro tipos de adições mitigadoras como proposta para cumprir os objetivos dos trabalhos. Todas as propriedades técnicas e físico-químicas foram obtidas com os fabricantes e são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12: Caracterização adições mitigadoras.

Produto	Aspecto	Massa específica (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)
Aditivo Superabsorvente	Pó branco	0,80	-
Aditivo Redutor de Retração	Líquido transparente	0,910	-
Aditivo Compensador de Retração – Tipo S	Pó branco	3,05	2000
Fibra de Polipropileno	Fibra sintética	0,90	-

3.3 MÉTODOS

Com base no traço piloto, Tabela 13, foram realizadas a confecção de 39 misturas adicionando-se apenas as soluções mitigadoras, conforme teores já informados.

Tabela 13: Traço de CAA utilizado.

Cimento (kg/m ³)	Filer calcário (kg/m ³)	Areia natural (kg/m ³)	Brita basáltica (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo superplastificante (kg/m ³)
438,10	109,52	920,01	744,77	197,14	5,47

Com base em cada adição, teor e tipo de cimento empregado, tem-se os traços pré-definidos da Tabela 14 à Tabela 17.

Tabela 14: Traços para o redutor de retração.

Nomenclatura	Proporção em massa						SRA
	Cimento	Filer Calcário	Areia	Pedrisco	Água	Aditivo Superplastificante	
1C4D1T (CP V ARI) 2C4D1T (CP II-Z) 3C4D1T (CP II-E)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	0,10%
1C4D3T (CP V ARI) 2C4D3T (CP II-Z) 3C4D3T (CP II-E)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	0,15%
1C4D2T (CP V ARI) 2C4D2T (CP II-Z) 3C4D2T (CP II-E)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	0,20%

Tabela 15: Traços para o compensador de retração.

Nomenclatura	Proporção em massa						CSA
	Cimento	Fíler Calcário	Areia	Pedrisco	Água	Aditivo Superplastificante	
1C2D1T (CP V ARI)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	3,0%
2C2D1T (CP II-Z)							
3C2D1T (CP II-E)							
1C2D3T (CP V ARI)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	5,0%
2C2D3T (CP II-Z)							
3C2D3T (CP II-E)							
1C2D2T (CP V ARI)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	7,0%
2C2D2T (CP II-Z)							
3C2D2T (CP II-E)							

Tabela 16: Traços para a fibra polimérica.

Nomenclatura	Proporção em massa						FP
	Cimento	Fíler Calcário	Areia	Pedrisco	Água	Aditivo Superplastificante	
1C3D1T (CP V ARI)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	0,05%
2C3D1T (CP II-Z)							
3C3D1T (CP II-E)							
1C3D3T (CP V ARI)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	0,10%
2C3D3T (CP II-Z)							
3C3D3T (CP II-E)							
1C3D2T (CP V ARI)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	0,15%
2C3D2T (CP II-Z)							
3C3D2T (CP II-E)							

Tabela 17: Traços para o polímero superabsorvente.

Nomenclatura	Proporção em massa						SAP
	Cimento	Fíler Calcário	Areia	Pedrisco	Água	Aditivo Superplastificante	
1C4D1T (CP V ARI)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	0,10%
2C4D1T (CP II-Z)							
3C4D1T (CP II-E)							
1C4D3T (CP V ARI)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	0,15%
2C4D3T (CP II-Z)							
3C4D3T (CP II-E)							
1C4D2T (CP V ARI)	1	0,25	2,10	1,70	0,45	1,25%	0,20%
2C4D2T (CP II-Z)							
3C4D2T (CP II-E)							

3.3.1 Procedimento de Mistura e Moldagem

Deforma a padronizar a mistura dos diferentes concretos, uma vez que o tempo de mistura influencia nas propriedades do CAA no estado fresco, foi utilizado o procedimento de mistura mostrado na Tabela 18. O tempo ideal de mistura foi estudado por Velasco (2008) e foram considerados para garantir a menor perda de trabalhabilidade devido à evaporação de água durante o tempo de mistura do concreto.

Tabela 18: Procedimento de mistura do concreto.

Etapa	Procedimento	Duração (segundos)
1	Mistura dos agregado graúdo com 80% da água	30
2	Adição do filer calcário	30
3	Adição do cimento	30
4	Adição do agregado miúdo	180
5	Para parar a raspagem das pás e parede do misturador	60
6	Adição da água juntamente com aditivo superplastificante	420
7	Adição da adição mitigadora	180

Fonte: Velasco (2008).

O concreto foi rodado em laboratório com a análise da temperatura de moldagem e umidade relativa do ar durante o tempo de mistura. Após a mistura, foram moldados doze corpos de prova cilíndricos de 100x200mm conforme a norma NBR 5738 – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (2015), seis corpos de prova prismáticos 150x2850mm conforme ABNT NM 131 –Concreto endurecido - Determinação da retração hidráulica ou higrometria do concreto (1997), sendo desses três prismas para análise da retração autógena e três para retração hidráulica, Figura 26.

Os copos de prova para análise da retração autógena seguem o determinado na ABNT NM 131 (1997) item 5.5.5 que diz que os corpos de prova devem ser selados com revestimento a prova d'água, podendo ser este revestimento colocado na face interna do molde antes da concretagem, sendo de borracha ou filme plástico. No caso desse estudo foi optado pelo filme plástico do tipo Stretch com 25 micra de espessura e colocado em três camadas.

As leituras dos prismas foram dadas com 24 horas, sendo essa a leitura de referência, depois aos 3, 7, 14 e 28 dias.



Figura 26: Corpos de prova prismáticos para ensaio de retração.

3.3.2 Condição de Cura

Os corpos de prova depois de moldados, permaneciam em uma sala climatizada, com temperatura de 23°C e umidade em torno de 60%, e eram desmoldados com 24 horas, sendo identificados e permaneciam nessa câmara durante 28 dias e retirados somente para a realização dos ensaios, Figura 27.



Figura 27: Corpos prova armazenados em câmara com temperatura controlada

3.3.3 Ensaio no Estado Fresco

3.3.3.1 Ensaio de aceitação do CAA

O concreto auto adensável, sendo a NBR 15282-1 (2010) deve ter suas características, fluidez, escoamento e habilidade passante, avaliadas para aceitar ou não o concreto, para tanto, as misturas foram avaliadas quanto ao espalhamento e do tempo de escoamento pelo Método do Cone de Abrams, conforme norma NBR 15823-2 – Concreto autoadensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams (2010), nos tempos de 10 e 20 minutos de mistura após o acréscimo de água total, após o primeiro ensaio de espalhamento foi realizado o ensaio de determinação da habilidade passante pelo Método do anel J conforme NBR 15823-3 – Concreto autoadensável Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J (2010).

3.3.3.2 Perda de água

Para verificar a perda de massa por perda de água, do concreto, devido à perda de água, adotou-se um procedimento que teve como objetivo simular a retração plástica do concreto. Esse procedimento consistiu em colocar o concreto, após 10 minutos de mistura, em uma forma metálica retangular de dimensões, 240 mm x 340 mm x 40 mm, a qual ficava apoiada sobre uma balança de precisão de 0,1 gramas, e acompanhado por meio de registro contínuo (filmagem) a perda de água, durante o tempo de pega do concreto, conforme Figura 28.



Figura 28: Aparato para análise da perda de água no estado plástico.

3.3.3.3 Calorimetria de condução térmica

Para a determinação do tempo em que as misturas deveriam ser avaliadas quanto à perda de água, foi realizado o ensaio de calorimetria de condução térmica para as misturas confeccionadas com o cimento de alta resistência inicial (CP V ARI) e para os cimentos compostos (CP II-E e CP II-Z).

Foi utilizado um calorímetro modelo I-Cal 2000 HPC da marca Calmetrix, Figura 29, os concretos eram misturados na argamassadeira, em ambiente com temperatura controlada, 23°C, pelo tempo de 10 minutos e então inseridos no calorímetro para análise monitorada de 12 horas, para possível determinação do período de início de pega.



Figura 29: Calorímetro Calmetrix I-Cal 2000 HPC.
Fonte: Langaro (2016).

O ensaio gera como resultado as curvas de desprendimento de calor ao longo do tempo, sendo possível assim identificar o final do período de indução (correspondente ao início da pega do cimento) e o fluxo máximo de calor desprendido, Figura 30.



Figura 30: Representação esquemática de curva de fluxo de calor de hidratação e critérios de determinação das variáveis.

Fonte: Antunes da Silva¹³(2001 *apud* Langaro (2016)).

3.3.4 Ensaios no Estado Endurecido

3.3.4.1 Módulo de Elasticidade e Resistência à Compressão

Foram avaliados aos 7 e 28 dias os parâmetros de resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto, para cada ensaio foi ensaio três corpos de prova por idade.

O ensaio de resistência mecânica à compressão foi realizado em corpos de prova cilíndricos de dimensões 10x20 cm conforme NBR 5739 – Concreto - Ensaios de compressão

¹³ ANTUNES DA SILVA, D. **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento Portland.** 2001. 263f. Tese (Doutorado) Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

de corpos-de-prova cilíndricos (2007). O ensaio de módulo de deformação foi realizado em prova cilíndricos de dimensões 10x20cm conforme NBR 8522 – Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão (2008).

Ambos os ensaios foram realizados no laboratório de materiais da UTFPR-Pato Branco, sendo compressão em uma prensa modelo PC-2000 e o módulo de elasticidade em uma prensa modelo DL-30000, ambas da marca EMIC, com utilização de um extensômetro eletrônico de configuração dupla para medição de pequenas deformações em corpos de prova rígido, com capacidade máxima de 2,5 mm também da marca EMIC, Figura 31.



Figura 31: Ensaio do módulo de elasticidade EMIC DL-3000.

3.3.4.2 Retração Hidráulica e Autógena

A avaliação da retração hidráulica seguiu o preconizado na ABNT NM 131 (1997), onde foi utilizado formas metálicas de 75x75x285 mm com pinos metálicos de referência, Figura 32, sendo a leitura dos comprimentos realizadas com um comparador mecânico vertical, Figura 33.



Figura 32: Prisma para avaliação da retração.



Figura 33: Comparador mecânico vertical.

A análise da retração foi dividida em análise da retração autógena e da retração por secagem (hidráulica). Para cada tipo de retração foram avaliadas as variações de comprimento de três primas, sendo os resultados de retração expresso pela média dos prismas, em porcentagem em relação a leitura inicial de comprimento.

As leituras foram tomadas em ambiente controlado de temperatura, sendo os corpos de prova colocados cuidadosamente no comparador e executado a leitura conforme procedimento da ABNT NM 131 (1997) item 5.2.

A frequência de medição respeitou as 24 horas de leitura inicial, três dias de moldagem, sete, quatorze e vinte oito dias. Como os prismas não foram submetidos a qualquer procedimento de cura, as leituras foram realizadas em função do tempo de moldagem e não de cura como manda a norma.

Para cálculo da retração foi utilizado a Equação 2:

$$\Delta L = \frac{\Delta Lx - \Delta Li}{Lg} \cdot 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

ΔL : variação de comprimento à idade x, em porcentagem;

ΔLx : leitura do comprimento com o prisma na idade x, menos a leitura do comparador com a barra de referência à idade x, em milímetros;

ΔLi : leitura inicial do comparador com o prisma menos a leitura do comparador com a barra de referência no mesmo momento, em milímetros;

Lg : base de medida em função do tipo de comparador, utilizado no caso 25mm.

3.4 PLANO AMOSTRAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

A delimitação amostral do ensaio em termos de repetição, pode ser otimizada em função do tratamento estatístico desejado para a conclusão dos objetivos de maneira clara e não dúbia. O objetivo principal do trabalho é avaliar a influência das adições no controle de retrações e na qualidade de concretos fabricados com diferentes teores.

Dessa maneira, verifica-se a necessidade de confrontar os resultados de qualidade de cada concreto, por meio de ensaios padronizados, ou pelo emprego de regressões lineares e comparação de média para as variáveis utilizadas.

A escolha do planejamento adequado, é uma função direta do número de variáveis independentes envolvidas no estudo, da viabilidade do número de ensaios que podem ser realizados em função do tempo e do custo de cada análise. No entanto, segundo Rodrigues e Lemman (2009), existe um número mínimo de ensaios, que devem ser realizados para que a discussão estatística dos resultados não seja comprometida ou leve a conclusões equivocadas das interações entre os efeitos físicos nas propriedades analisadas.

Para a escolha do plano amostral mais indicado, foi utilizado a metodologia proposta por Rodrigues e Lemman (2009) planejamentos experimentais em função das variáveis independentes de estudo (k), no presente estudo são verificadas 3 variáveis independentes, conforme 3.1, dessa forma recomenda-se um delineamento fatorial completo, totalizando 39 amostras de ensaios.

A Tabela 19 mostra a normalização dos fatores das variáveis independentes para análise do delineamento fatorial completo, sendo que não foi considerado como uma variável quantitativa a atribuição dos níveis para o cimento, a classificação utilizada foi empregada para transformar uma variável qualitativa em um nível que pudesse ser analisada em conjunto com as demais propriedades.

Tabela 19: Normalização das variáveis independentes

Variáveis	Código	Níveis				
		-3	-1	0	1	3
Cimento	C	-	CP V ARI	CP II-Z 32	CP II-E 32	-
Adições	D	SRA	CSA	Controle	FP	SAP
Teores	T	Limite inferior	Limite Superior	-	Teor Intermediário	Controle

As variáveis respostas serão dadas em função dos ensaios realizados e descritos nos itens 3.3.3 e 3.3.4, e são descritas na Tabela 20.

Tabela 20: Normalização das variáveis respostas

Respostas	Código	Resultados
Espalhamento	y_1	
Perda de trabalhabilidade ao longo do tempo	y_2	Valor característico
Anel-J	y_3	
Perda de massa	y_4	
Resistência à compressão	y_5	
Módulo de elasticidade	y_7	Valor médio dos resultados
Retração hidráulica	y_8	
Retração autógena	y_9	

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados, sendo: calorimetria, perda de massa por evaporação, trabalhabilidade pelo Slump Flow, habilidade passante Anel-J, resistência à compressão, módulo de elasticidade, retração autógena e hidráulica. São apresentados os resultados para cada ensaio e então subdivida a análise dos resultados em função dos tipos de cimento e das adições utilizadas.

4.1 CALORIMETRIA

A Figura 34 apresenta os resultados de calorimetria de condução isotérmica para as misturas contendo CP V ARI e CP II. Verifica-se que o início da pega para o concreto confeccionado com o cimento de alta resistência inicial é dado em aproximadamente quatro horas e para as misturas contendo cimento composto é de sete horas.

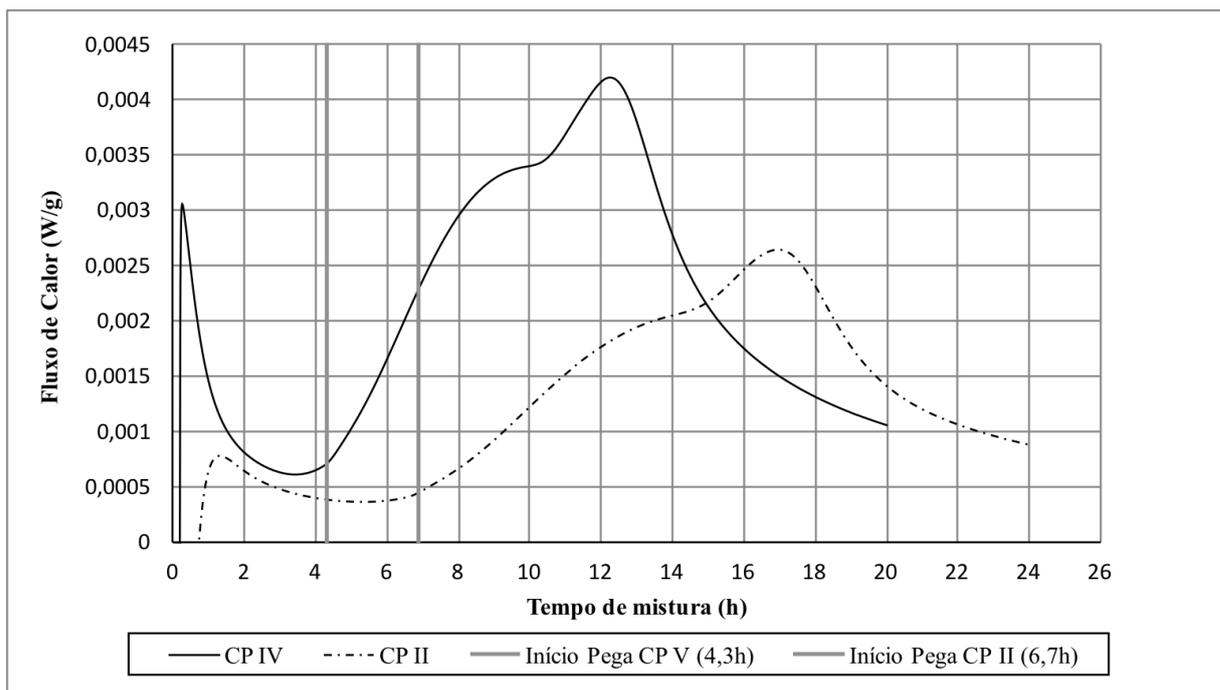


Figura 34: Fluxo de calor para determinação do início de pega dos cimentos

Os resultados de calorimetria comprovam as informações dos fabricantes sobre a diferença dos tempos de pega entre os cimentos, e serão utilizados para determinar qual o período de tempo que o ensaio de perda de água no estado plástico será executado.

4.2 PERDA DE MASSA E TAXA DE EVAPORAÇÃO

Os resultados do ensaio de perda de massa são apresentados na Tabela 24 no Apêndice A, para análise e comparação dos valores foram utilizados os resultados de perda de massa ao fim do período de pega.

A influência dos fatores, cimento, adição e teor foram analisados por meio da ANOVA de interação tripla (Tabela 103), de interação dupla (Tabela 104) e interação simples (Tabela 105) para o nível de significância de 5%, visto que apenas o cimento apresentou-se como uma variável significativa.

A Figura 35 apresenta os resultados para perda de massa das misturas no estado fresco, sendo que o ensaio foi realizado em ambiente com temperatura controlada de 23°C e os valores apresentados são referentes ao tempo de pega das misturas, sendo de 4 horas para o cimento CP V ARI (1C) e de 7 horas para os cimentos CP II-Z 23 (2C) e CP II-E 32 (3C). Verifica-se na Figura 35 que para as misturas realizadas com cimento CP V ARI todas as adições foram capazes de reduzir a perda de massa em relação a amostra de controle.

As misturas confeccionadas com CP II-Z apresentaram variações de resultados conforme o teor e o tipo da adição utilizada, sendo que o uso do redutor de retração (1D) e do polímero superabsorvente (4D) em todos os teores testados elevaram os valores de perda de massa, já as adições do compensador de retração (2D) e fibra polimérica apresentaram redução da perda de massa apenas para o teor ótimo de 5% de adição a massa de cimento para o compensador e de 0,10% de adição em relação a massa de cimento para a fibra polimérica (3D).

A interação das adições nas misturas contendo CP II-E reduziram a perda de massa nos teores de 1% e 2% de adição em relação a massa de cimento para o redutor de retração (1D), nos teores de 0,05% e 0,15% de adição em relação a massa de cimento para a fibra polimérica (3D). Já para as adições do compensador de retração (2D) e polímero superabsorvente (4D) teores superiores à 7% e 0,20%, respectivamente, de adição a massa de cimento foram capazes de reduzir a perda de água.

A perda de massa elevada para as misturas de CP II-Z pode estar ligada a coesão e presença de vazios da mistura, onde misturas menos coesas e com maior presença de vazios levam a uma perda de massa superiores devido ao fato de haver caminhos livres para a percolação da água de dentro das misturas para o ambiente (SILVA, 2011).

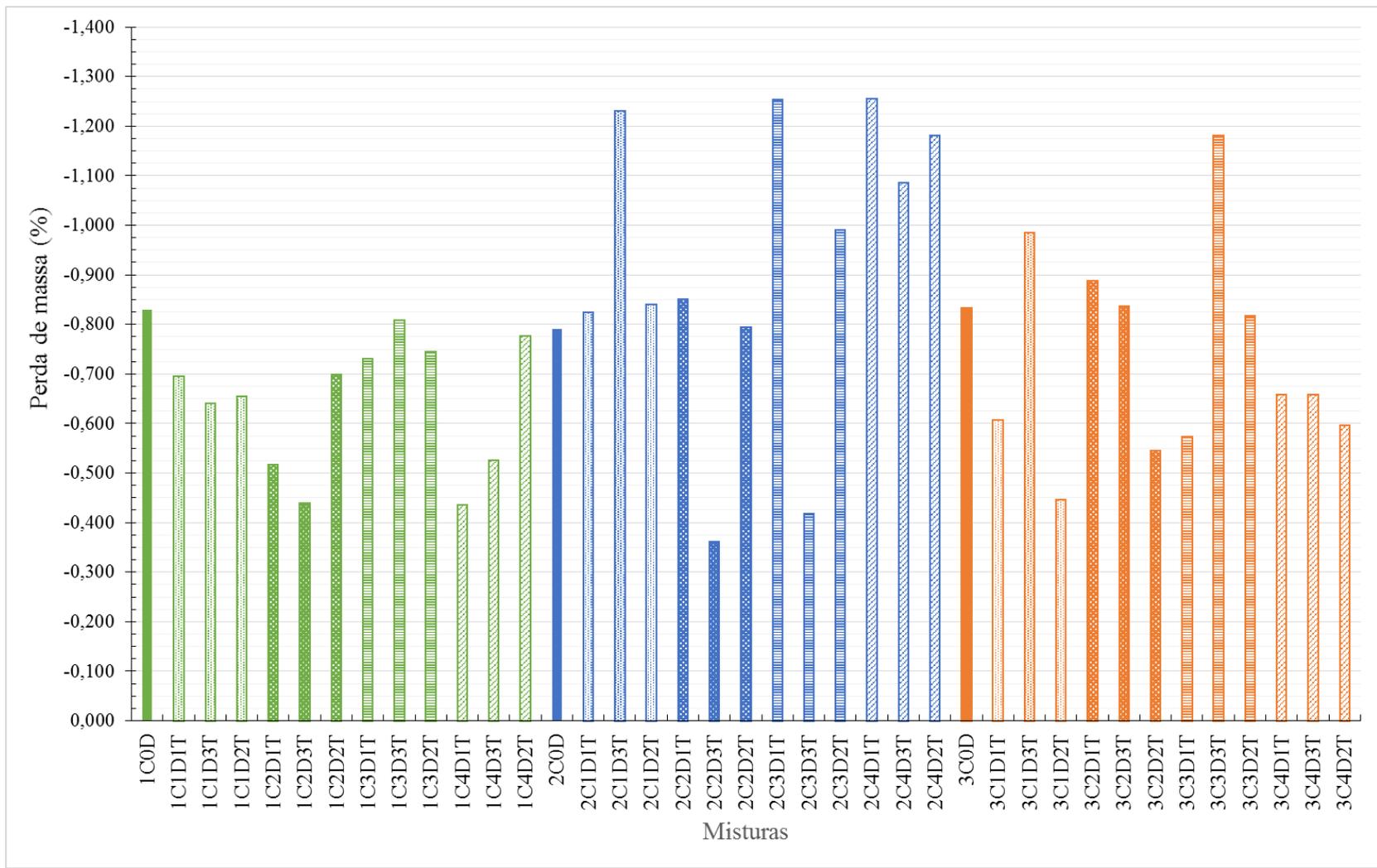
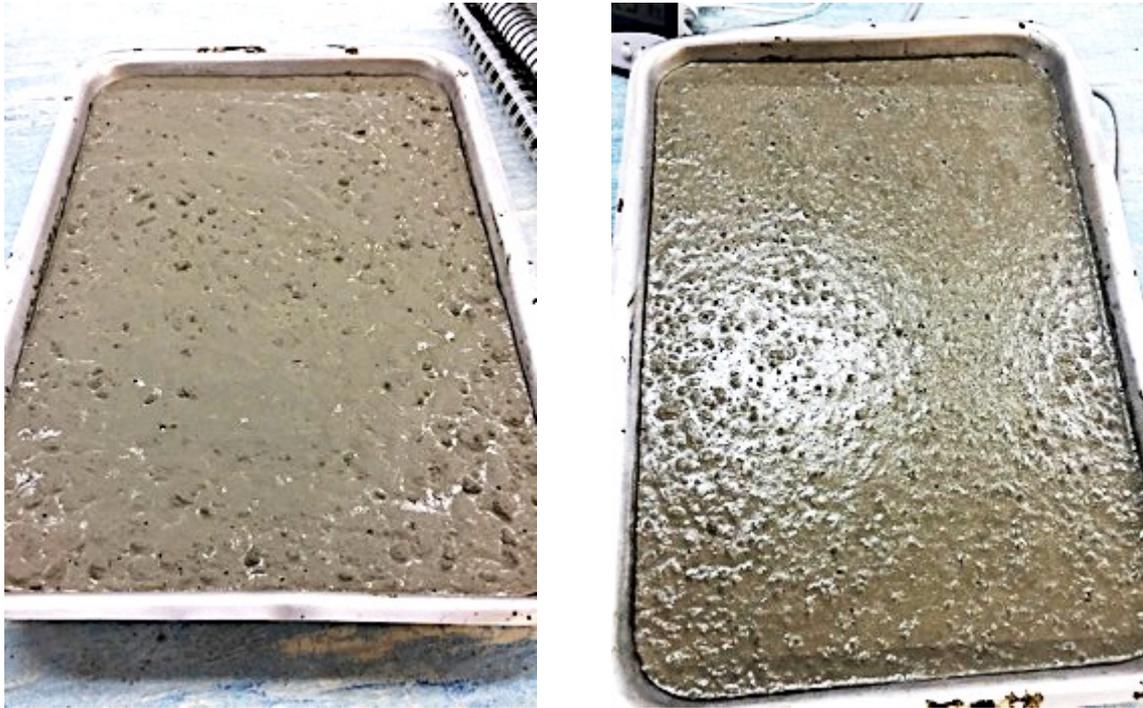


Figura 35: Perda de massa no estado fresco.

A Figura 36 mostra a aparência das amostras após a execução do ensaio de perda de massa, sendo possível verificar a diferença da textura da superfície entre as duas amostras, onde a amostra (a) de cimento CP II apresenta uma textura e aparência mais seca, sendo nesse caso a mistura 2C1D3T, e a amostra (b) de cimento CP V com uma textura mais úmida, nesse caso a mistura 1C1D3T.



(a) Mistura com CP II-Z

(b) Mistura com CP V

Figura 36: Aparência das amostras após o ensaio de perda de massa no estado fresco.

Os resultados do ensaio de taxa de evaporação são apresentados também na Tabela 24 no Apêndice A, para análise e comparação dos valores.

Foram utilizados os resultados de perda de massa ao fim do período de pega e a área da forma para definição da taxa de evaporação de água em quilograma por metro quadrado hora, sendo o ensaio realizado sem a presença de vento e com temperatura controlada de 23 °C.

A influência dos fatores, cimento, adição e teor foram analisados por meio da ANOVA de interação tripla (Tabela 106), de interação dupla (Tabela 107) e interação simples (Tabela 108) para o nível de significância de 5%, visto que existe influência do significativa do tipo de cimento e do tipo de adição utilizada, conforme os dados do Apêndice D.

Os resultados da determinação da taxa de evaporação são mostrados na Figura 37.

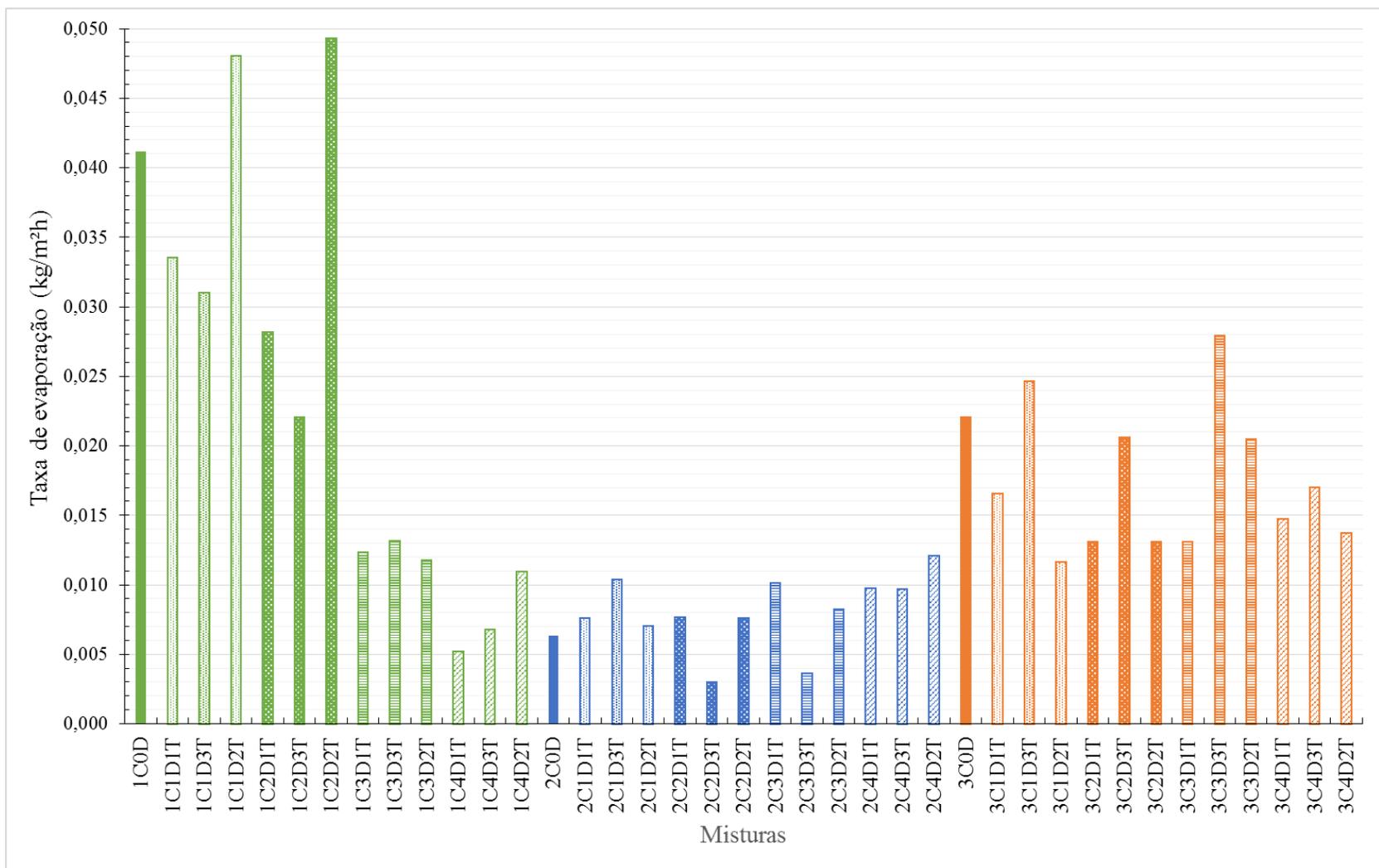


Figura 37: Taxa de evaporação durante estado fresco.

Analisa-se na Figura 37 a influência dos cimentos e das adições encontradas no resultado de análise de variância, onde o cimento CP V ARI apresenta taxas de evaporação superiores aos demais cimentos, inclusive considerando as ações mitigadoras enquanto o cimento CP II-Z, apresenta as menores taxas de evaporação.

Verifica-se que para as misturas de CP V ARI a adição mais influente na redução da taxa de evaporação, foi a adição de polímero superabsorvente, enquanto as adições de compensador de retração em limites superiores à 7% da massa de cimento e de redutor de retração em limites superiores a 2,0% da massa de cimento elevaram a taxa de evaporação. Para as misturas de CP II-Z apenas as adições de CSA e de fibra polimérica nos teores de 7% e 0,15%, respectivamente, em relação a massa de cimento reduziram a taxa de evaporação. Já para o CP II-E apenas as misturas de SRA com 1,5% e com 0,10% de adição não foram capazes de reduzir a taxa de evaporação.

O cimento CP V apresenta uma taxa de evaporação superior aos cimentos compostos, fato que pode ser explicado pela maior reatividade do cimento nas primeiras horas, assim como o CP II-Z com adição pozolânica, apresenta reações químicas mais lentas que o cimento com adição de escoria, justificando o fato de o CP II-Z apresentar as menores taxas de evaporação, uma vez que a taxa de evaporação está ligada a temperatura ambiente, umidade, velocidade do vento e temperatura interna do concreto (ACI, 1999).

4.2.1 Influência dos Cimentos

A Figura 38 apresenta os resultados de perda de massa utilizando somente as misturas de controle, sendo 1C0D cimento CP V ARI, 2C0D cimento CP II-Z e 3C0D o cimento CP II-E.

Verifica-se que a influência dos cimentos na perda de massa no estado fresco é baixa, uma vez que o ambiente em que foi realizado o ensaio foi controlado e não apresentava variações bruscas de temperatura e umidade ambiente.

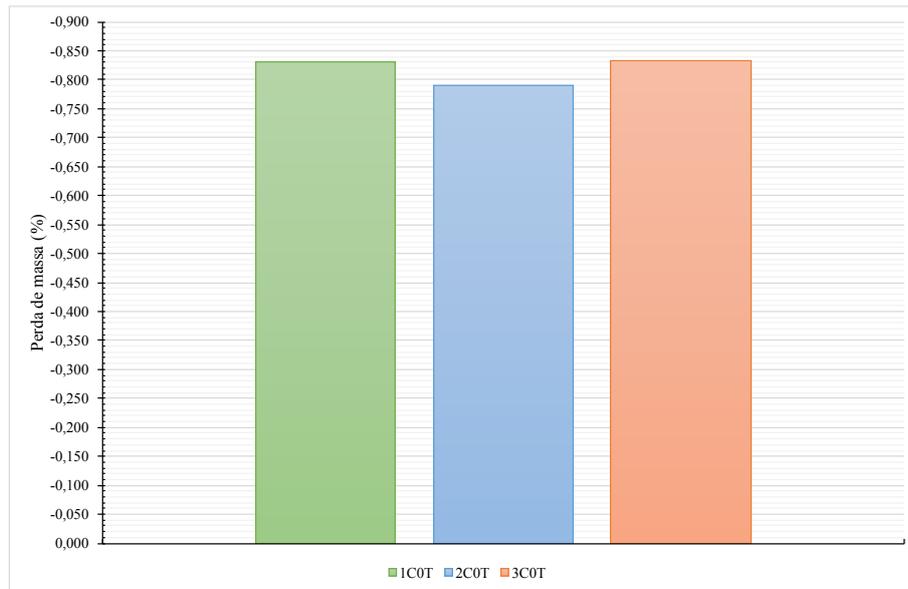


Figura 38: Influência dos cimentos na perda de massa no estado fresco.

A Figura 39 apresenta os resultados de taxa de evaporação para os diferentes tipos de cimento empregados.

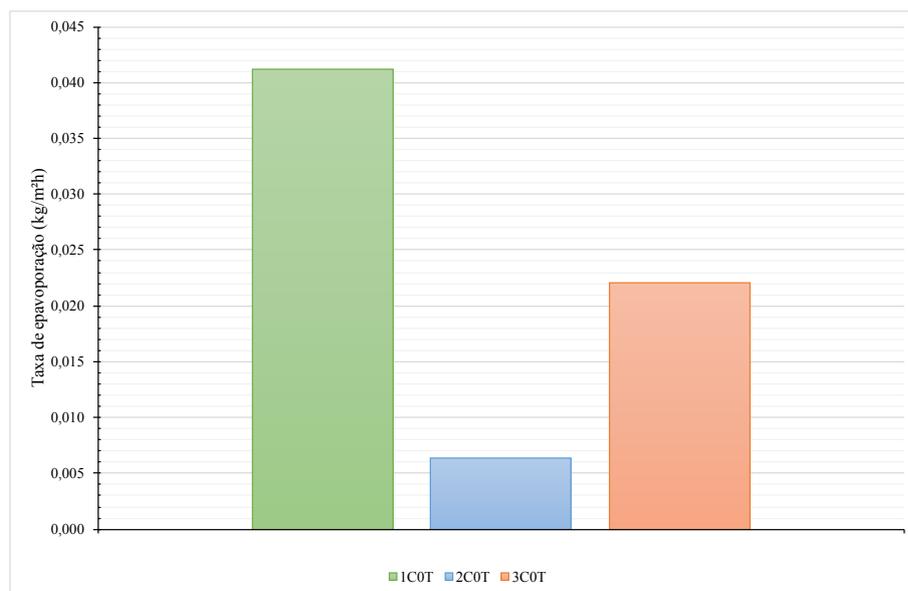


Figura 39: Influência dos cimentos na taxa de evaporação no estado fresco.

A taxa de evaporação da água é influenciada significativamente pelo tipo de cimento utilizado, pois as taxas de evolução das reações de cimento influenciam na taxa de evaporação devido a temperatura interna do concreto.

Cimentos com maior reatividade apresentaram maiores taxa de evaporação que cimentos com menor reatividade (ACI, 1999), podendo ser considerado como prejudiciais taxas de evaporação superiores $0,05 \text{ kg/m}^2\text{h}$ uma vez que essa taxa pode resultar em fissuras por retração plástica, sendo em situações com taxas de evaporação superiores a esse limite, devem ser desenvolvidos procedimentos de cura condizentes com o local de aplicação do concreto.

Ao analisar a Figura 39 verifica-se que a taxa de evaporação para o CP V ARI (1C0T) aproxima-se do limite considerado como perigoso, para o aparecimento de fissuras por retração plástica, fato que pode ser explicado pela elevada reatividade do cimento nas primeiras horas, gerando um calor de hidratação interno superior aos demais cimentos. O cimento CP II-Z (2C0T) enquanto isso apresenta uma menor taxa de evaporação devido as reações lentas de hidratação ocasionadas pela ação pozolânica.

4.2.2 Influência das Adições

A Figura 40 apresenta a influência das adições na mitigação da perda de massa, sendo os resultados expressos em porcentagem em relação a mistura de controle para cada tipo de cimento. Sendo valores negativos para mitigação e valores positivos para majoração dos efeitos.

A aditivo redutor de retração (SRA) apresentou-se eficiente para mitigar a perda de massa em até 20% para o CP V ARI, 50% em teores de 2% para o cimento CP II-E, não sendo eficiente para em nenhum teor estudado para reduzir a perda de massa nas misturas de CP II-Z.

O uso do compensador de retração (CSA) foi eficiente em praticamente todas as misturas de cimento. Foi a adição, em que a variação dos teores, resultou em diferentes comportamentos em relação ao tipo de cimento, onde o teor de 3% de adição foi eficiente para reduzir a perda de massa em 48% para o CP V ARI, a adição de 5%, em relação a massa de cimento, foi capaz de reduzir em 54% a perda de massa, nos concretos produzidos com CP II-Z, com adição de 7% adição foi possível reduzir em 35% o efeito da perda de massa, para o CP II-E. Essa variação dos teores pode ser explicada pela interação química dos cimentos utilizados com o compensador de retração, classificado como cimento aluminoso.

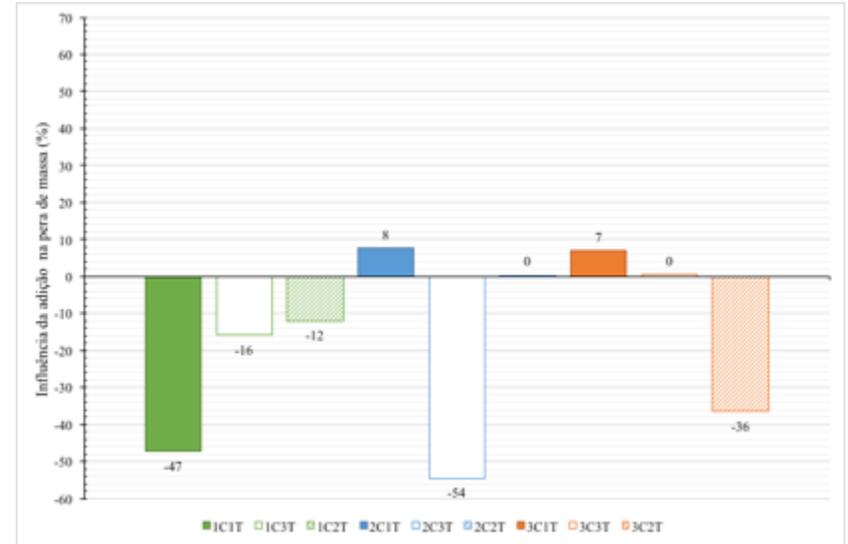
O uso da fibra polimérica (FP), independente dos teores empregados, foi efetiva para reduzir a perda de massa, em todas as misturas de CP V ARI, no teor de 0,10% para o CP II-Z e no teor de 0,05% para o cimento CP II-E indicando que não existe uma relação direta entre o teor de fibra utilizado e tipo de cimento. O uso de FP apresenta uma interação física nas misturas, possibilitando o aumento da resistência a exsudação das misturas (SILVA, 2011), sendo, portanto, importe avaliar a interação entre a finura dos cimentos e da mistura em relação ao teor de fibra utilizado.

O uso do polímero superabsorvente (SAP) revelou-se eficiente para reduzir a perda de massa para as misturas de CP V ARI e de CP II-E em todos os teores estudados, enquanto para o CP II-Z mostrou-se incapaz de reduzir a perda de água.

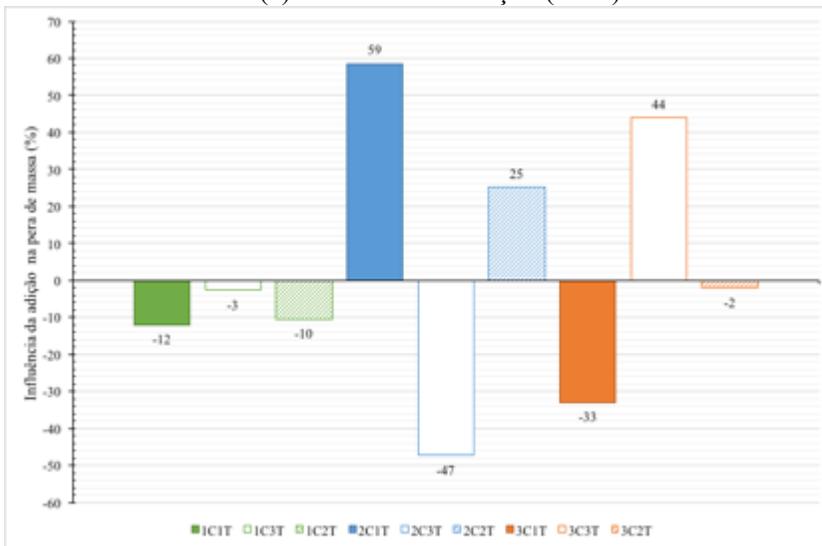
Dentre as adições utilizadas pode-se verificar que a adição mais eficaz foi o compensador de retração (CSA) por ser capaz de reduzir a perda de massa nos três teores estudados para diferentes cimentos, exceto para o CP II-Z, onde o uso de teores inferiores a 3% não se revelou eficaz.



(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SAP).

Figura 40: Influência das adições na mitigação na perda de massa no estado fresco.

A Figura 41 apresenta a influência das adições na mitigação da perda de massa, sendo os resultados expressos em porcentagem em relação a mistura de controle para cada tipo de cimento. Sendo valores negativos para mitigação e valores positivos para majoração dos efeitos.

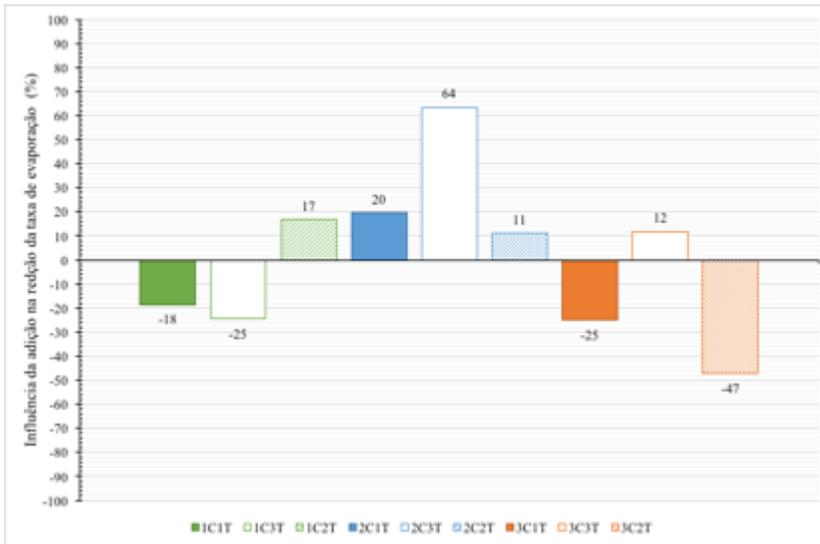
O uso de SRA mostrou-se eficaz, quando utilizados em teores de até 1,5% de adição, em relação a massa de cimento, quando utilizado no concreto com cimento ARI, reduzindo em até 20% a taxa de evaporação. Contudo, quando empregado no concreto com cimento CP II-Z, não se apresentou eficaz para reduzir a taxa de evaporação, independente dos teores utilizados. Entretanto, quando empregado em concreto com o cimento CP II-E, foi capaz de minimizar em quase 50% a perda de massa, quando empregado o teor de 2,0%.

A eficácia do aditivo compensador de retração, CSA, revelou-se dependente do tipo de cimento e do teor de adição. Por exemplo, em concretos produzidos com CP II-Z, foi necessário empregar o teor de 5%, nesse caso, o compensador foi capaz de mitigar em até 50% a perda de massa. Por outro lado, quando empregado em concretos, com cimento CP V ARI o teor de 3,0% foi capaz de mitigar em até 47% a perda de massa. Já para concretos, com cimento CP II-E, tem-se que o emprego de teores superiores a 5%, resultam, em até 36% de mitigação para a perda de massa.

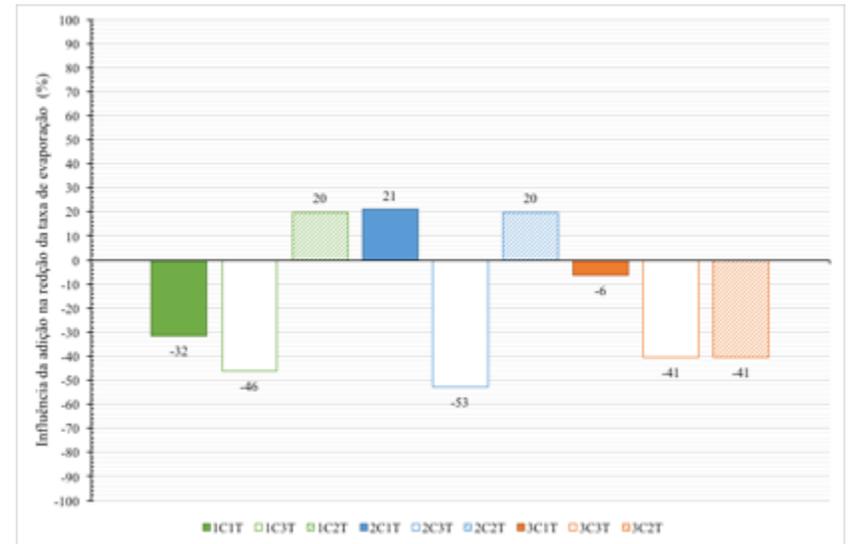
A incorporação de FP nas misturas demonstrou se eficiente em todas as misturas de CP V ARI sendo capaz de reduzir em até 70% o efeito da evaporação, enquanto para as misturas de CP II-Z a redução foi acentuada apenas para o uso de 0,10% e para as misturas com CP II-E foi eficiente apenas nos teores de 0,05% e 0,15%.

O emprego de SAP foi capaz de minimizar a evaporação em todas as misturas de CP V ARI e CP II-E, enquanto que para as misturas de CP II-Z os teores estudados não foram capazes de reduzir os efeitos, sendo responsável inclusive pelo aumento da taxa em até 90%.

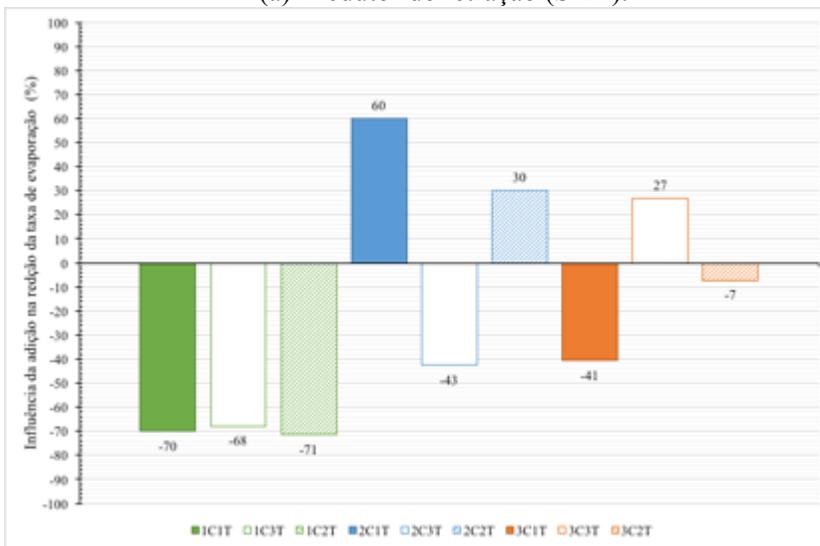
Quanto ao tipo de adição verifica-se a maior eficiência no emprego da fibra polimérica (FP) nos três teores para o CP V ARI, com adição de 0,10% para o CP II-Z e de 0,05% para o CP II-E, confirmando que existe a interação entre o teor empregado e a compatibilidade físico-química das adições com o cimento. A adição de SAP mostrou-se também muito eficiente para as misturas de CP V ARI sendo capaz de reduzir a taxa de evaporação em até 90%, no entanto o seu emprego com o CP II-Z ocasionou aceleração de 90%, mas também se mostrou efetiva para o CP II-E nos três teores empregados.



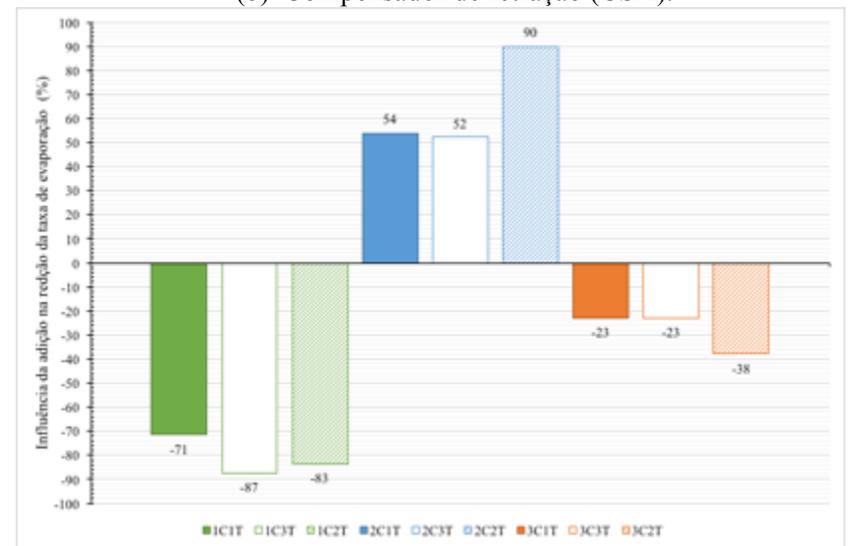
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SAP).

Figura 41: Influência das adições na mitigação na taxa de evaporação no estado fresco.

4.3 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

Para cada mistura foram realizados os ensaios de fluidez (espalhamento) pelo Método de Funil de Abrams (slump Flow) para os tempos de 15 minutos de mistura e de 30 minutos, verificando a perda de fluidez durante esse período, os dados dos ensaios encontram-se na Tabela 23 do Apêndice A.

A influência das variáveis nas respostas dos ensaios (espalhamento com 15 minutos, espalhamento 30 minutos e perda de trabalhabilidade) foi avaliada mediante o emprego da análise de variância com nível de significância de 5%, os resultados apresentados no Apêndice D, sendo avaliadas a interação tripla (Tabela 109, Tabela 112 e Tabela 115), interação dupla (Tabela 110, Tabela 113 e Tabela 116) e interação simples (Tabela 111, Tabela 114 e Tabela 117). As ANOVA mostraram que, o tipo de adição é um fator significativo quanto ao espalhamento e o cimento é um fator significativo para o efeito da perda da trabalhabilidade com o tempo.

A Figura 42 apresenta os resultados de espalhamento aos 15 e 30 minutos de mistura para todas as amostras ensaiadas, sendo o espalhamento classificado em classes, definidas no item 5.1 da NBR 15823-1 (2010) dadas na Tabela 21.

Tabela 21: Classificação do CAA conforme espalhamento (mm).

Classe	Espalhamento (mm)	Aplicações
SF 1	550 - 650	- CAA bombeado; - Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura; - Estruturas que exigem curta distância de espalhamento horizontal.
SF 2	660 - 750	- Maioria das aplicações correntes.
SF 3	760 - 850	- Estruturas com alta densidade de armadura; - Forma arquitetônica complexa.

Fonte: NBR 15823-1 (2010).

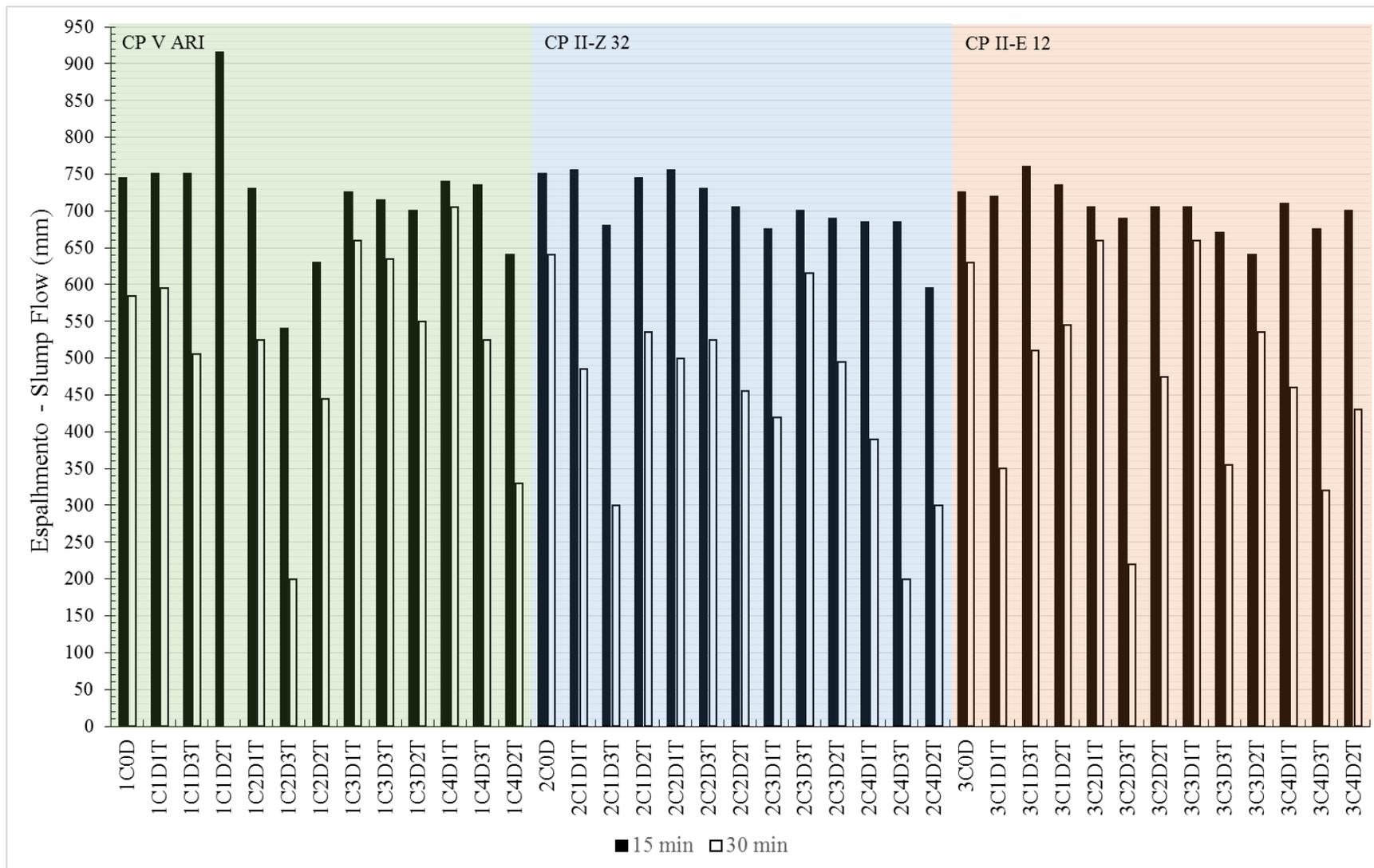


Figura 42: Resultados espalhamento para todas as misturas.

Tem-se que aos 15 minutos de mistura, 82,1% das amostras foram enquadradas como SF2, classificação intermediária de classificação, 10,2% das misturas foram consideradas SF3 e 7,7% das misturas enquadraram na classe SF1. Enquanto após 30 minutos de mistura apenas 28,1% das amostras manteve-se auto adensável, sendo dessas 17,9% classe SF1 e 10,2% classe SF2, as demais amostras, 71,9% do total, não apresentaram espalhamento superior a 550 mm para ser considerada uma mistura de concreto autoadensável.

A Figura 43 apresenta a perda de trabalhabilidade em porcentagem entre o espalhamento com o tempo de 15 minutos e 30 minutos de mistura.

A influência das variáveis de estudo na perda de trabalhabilidade foram analisadas com a análise de variância com 5% de significância, sendo os resultados apresentados a interação tripla na Tabela 115, interação dupla na Tabela 116 e interação simples Tabela 117 do Apêndice A. Com base na ANOVA foram encontradas influências significativas no uso dos cimentos e das adições na perda de trabalhabilidade, podendo ser considerado significativo ao nível de 10% o tipo de cimento e teor da adição empregados.

Analisando-se a Figura 43 existe uma perda média de 25% em todas as misturas utilizadas, sendo essas perdas significativas na definição do concreto autoadensável, pois a maioria das misturas não apresentaram espalhamento superiores a 550mm, conforme a análise da Figura 42. O cimento CP II-Z apresenta uma perda média de abatimento superior aos demais cimentos, enquanto os maiores teores de adições possibilitam a maior perda de abatimento para os três cimentos analisados.

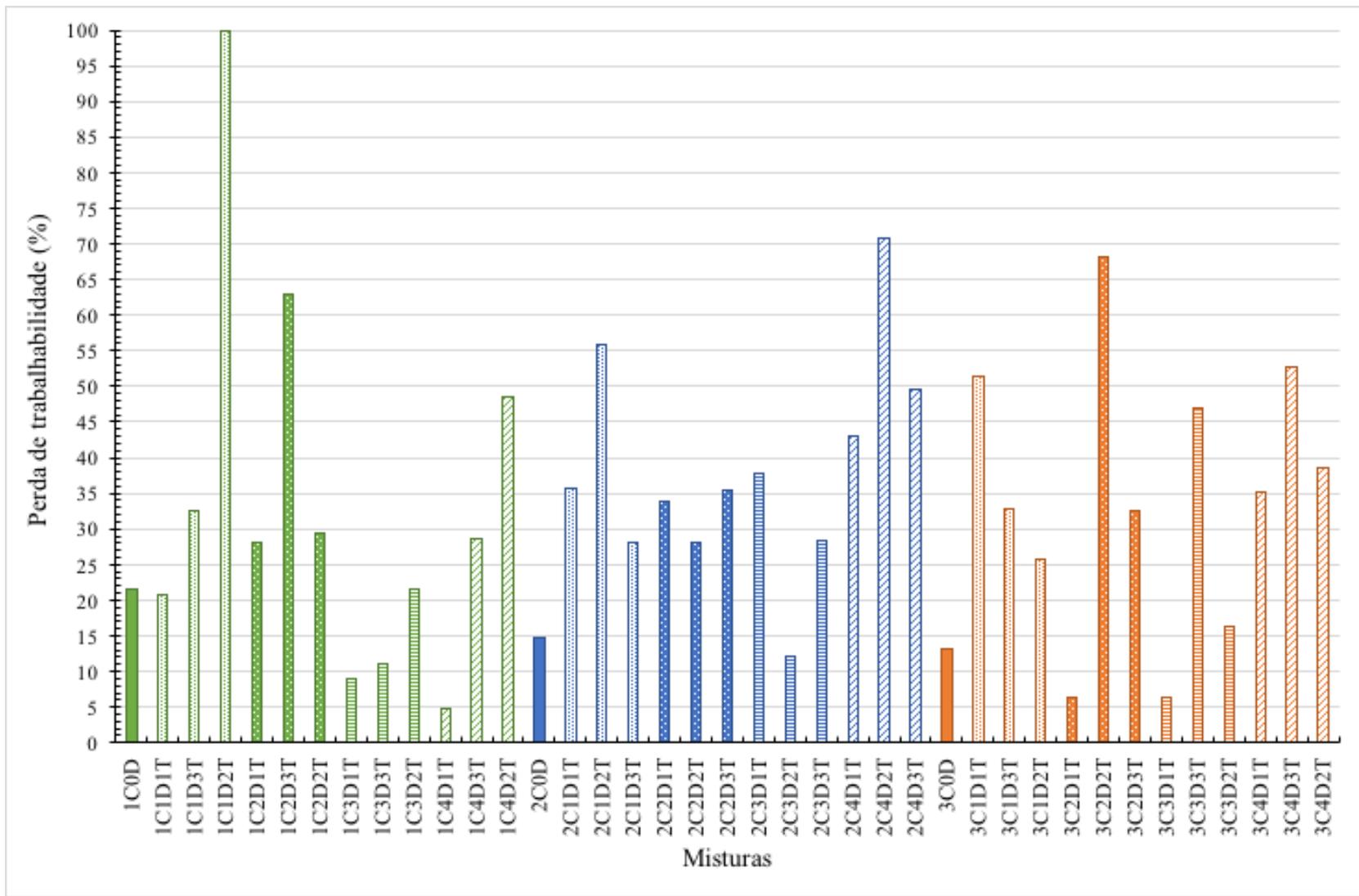


Figura 43: Perda de trabalhabilidade em 15 minutos de mistura.

Todas as misturas com SRA foram classificadas como SF2 aos 15 minutos de mistura, perdendo a sua capacidade de espalhamento horizontal, para ser classificado como CAA para as misturas com teores de 1,5 e 2,0% de adição, e para a o teor de 1,0% manteve-se dentro da classificação de SF1, representando uma média de perda de 52%, sendo recomendável como CAA para ser bombeado e utilizado em estruturas com baixa taxa de armadura ou que necessitem de uma curta distância de espalhamento (NBR 15283-1, 2010).

Verificou-se que as misturas com CSA são mais coesas do que as misturas de SRA reduzindo a possibilidade de segregação da mistura, durante a aplicação do CAA, no entanto essa maior coesão foi responsável pela perda de trabalhabilidade ao ponto de nenhum teor empregado, se manter dentro das classes de CAA após 30 minutos de mistura, apresentado perda média de 40%, sendo recomendável a aplicação desse concreto durante os primeiros 15 minutos, em situações de elementos com baixa taxa de armadura.

As misturas com FP obtiveram redução na trabalhabilidade suficientes para passar de classe SF2 para SF1 em todos os teores empregados, com média de perda de 14%, entretanto, a perda de trabalhabilidade foi a menor em relação a todas as adições mitigadoras de retração empregadas com CP V ARI.

A perda de trabalhabilidade para as misturas com SAP foi significativa, uma vez que as misturas passaram de SF2 para espalhamento não condicente com CAA em todos os teores empregados, apresentando média de redução do abatimento de 27%. As misturas com SAP perdem a trabalhabilidade rápido devido a absorção da água da mistura pelo polímero, que deve perder a água para o concreto novamente somente após a mudança de umidade entre ambiente interno e externo.

Todas as misturas confeccionadas com CP II-Z apresentaram perda de trabalhabilidade superior ao indicado para utilizar o CAA com propriedades de alta adensabilidade e espalhamento horizontal.

As misturas com SRA apresentaram perda de abatimento em torno de 35% entre o ensaio inicial e final, essa perda foi suficiente para influenciar na aplicabilidade do concreto autoadensável. Quanto aos teores empregados tem-se que alterando as faixas dos teores de 1,5% e 2,0% de classe SF2 para não classificável e para o teor de 1,0% de SF3 para não classificável.

O emprego de CSA combinado com CP II-Z apresentou perda média de espalhamento de 32%. Assim como para as misturas com CP V ARI o emprego do CSA com cimento CP II-Z apresentou misturas mais coesas e redução da aplicabilidade do CAA uma vez que o espalhamento final não se encontra dentro da zona classificável da Tabela 21.

As misturas com FB apresentaram perda de abatimento médio de 26% para os teores empregados, essa perda foi suficiente para alterar a faixa de espalhamento dos teores de 0,05% e 0,10% de SF2 para não classificável e para o teor de 0,15% de classe SF2 para SF1.

A perda média de trabalhabilidade foi de 54% para as misturas com SAP, sendo a maior perda dentre as adições utilizadas com CP II-Z. Por se tratar de um material de grande potencial higroscópico o SAP consome rapidamente a água de amassamento, não possibilitando o emprego do CAA com esse tipo de adição em aplicações que demandam um elevado tempo de concretagem.

As misturas de SRA obtiveram redução do espalhamento de 32% para todos os teores estudados, causando uma perda de abatimento suficiente para o CAA passar da classe SF2 para não classificável.

O emprego de 3,0% de CSA no concreto com CP II-E resultou em uma perda de 36% da trabalhabilidade inicial, sendo que o teor de 3% não foi significativo para mudar a trabalhabilidade de classificação, mantendo-se, portanto, SF2, enquanto os demais teores, 5% e 7% resultaram em trabalhabilidade inferiores à 550mm.

O uso da fibra polimérica resultou em uma perda média de 23% da trabalhabilidade do CAA sendo que o teor de 0,05% teve classificação mantida ao longo do tempo, já os teores de 0,10% e 0,015% resultaram em espalhamentos inferiores à 550mm.

A aplicação do SAP nos teores de 0,10%, 0,15% e 0,20% resultaram em espalhamentos, após 30 minutos de mistura, inferiores à 550mm, não sendo classificado como CAA.

Com relação a perda de trabalhabilidade o emprego do polímero superabsorvente obteve o pior desempenho dentre as adições empregadas independentemente do tipo de cimento, enquanto que a adição com menos influência foi a fibra polimérica.

A habilidade passante foi analisada pelo Método do Anel J, sendo considerado a diferença em milímetros (mm) entre a medida de espalhamento sem e com o anel, conforme NBR 15823-3 (2010), sendo os dados apresentados também na Tabela 23 do Apêndice A.

A influência das variáveis nas respostas dos ensaios (habilidade passante pelo Anel-J) foi avaliada mediante o emprego da análise de variância com nível de significância de 5%, os resultados apresentados no Apêndice D, sendo avaliadas a interação tripla (Tabela 118), interação dupla (Tabela 119) e interação simples (Tabela 120). A interação com nível de significância de 5% apresentou apenas interação significativa entre as adições utilizadas.

A habilidade passante informa a capacidade que o concreto tem de fluir sem perder a homogeneidade ou sofrer bloqueios por obstáculos fixos e o CAA é classificado pela habilidade passante conforme Tabela 22.

Tabela 22: Classificação da habilidade passante utilizando Método Anel-J

Classe	Anel-J (mm)	Aplicação
PJ1	Diferença entre 25 mm e 50 mm	- Elementos estruturas com espaçamento de armadura de 80mm a 100mm (lajes, painéis e fundações) - Maioria das aplicações;
PJ2	Diferença ente 0 e 25 mm	- Elementos estruturais com espaçamento de armadura de 60 mm a 80 mm (vigas, pilares, pré-moldados)

Fonte: NBR 15823-3 (2010).

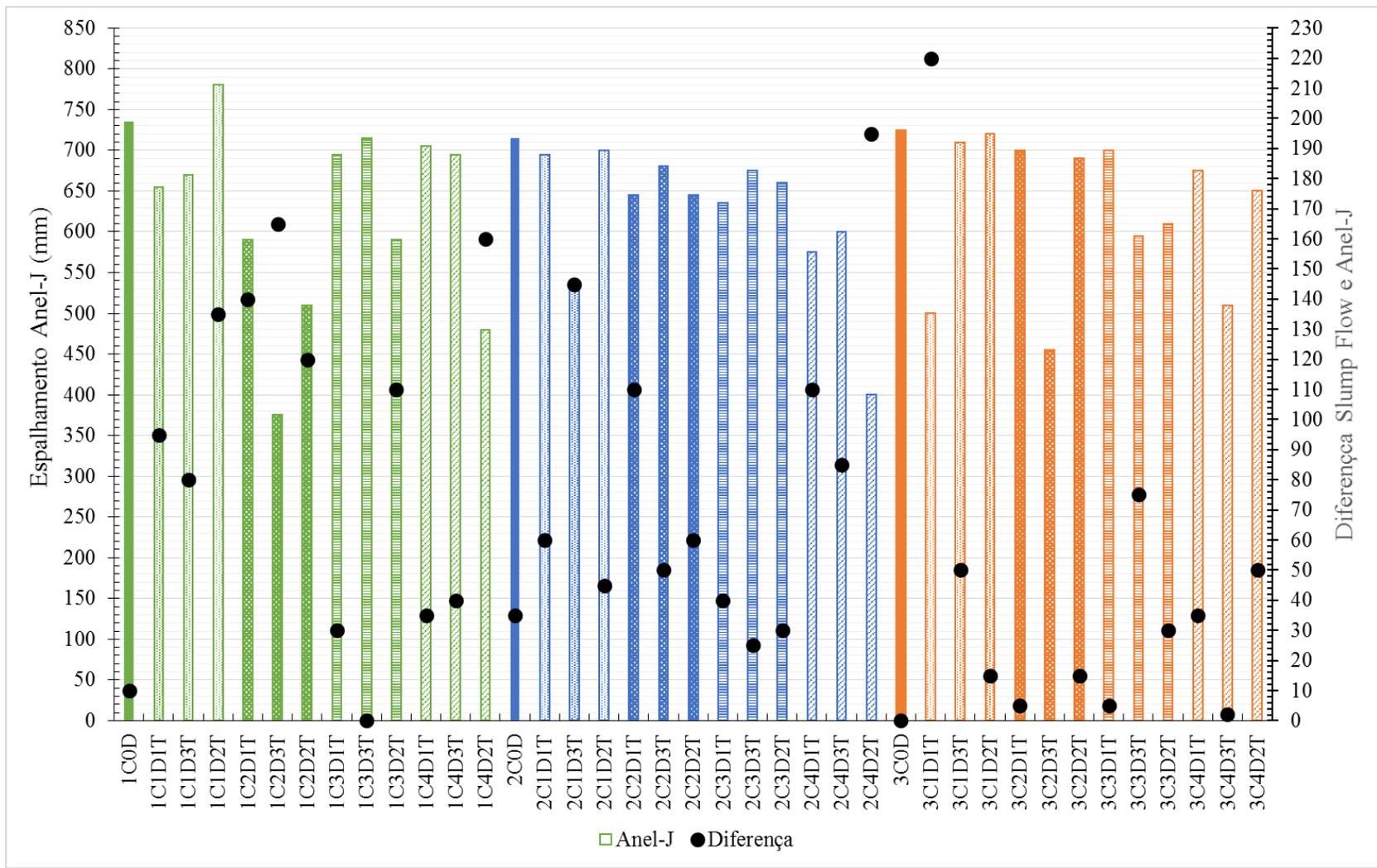


Figura 44: Anel-J e diferença do espalhamento em relação ao Slump Flow.

Analisando-se a Figura 44 e a Tabela 22 que 23,1% das misturas podem ser classificadas como PJ2, 30,7% classificadas como PJ1 e 46,2% das misturas não apresentam habilidade passante condizentes como as especificações da norma para serem aplicados em concretos armados.

Dentre as misturas de CP V ARI, 15,4% das misturas são enquadradas como PJ1, 23,1% das misturas, são classificadas como PJ2 e 38,5% não devem ser utilizadas como CAA em estruturas armadas. Dentre as adições apenas a fibra polimérica e o polímero superabsorvente obtiveram resultados satisfatório quanto a habilidade passante pelo Método do Anel-J, no entanto junto com a habilidade passante deve-se verificar a capacidade de espalhamento, sendo que nesse caso a fibra polimérica apresenta desempenho superior ao SAP.

Dentre as misturas de CP II-Z, 38,5% das misturas são enquadradas como PJ1, 7,7%% das misturas, são classificadas como PJ2 e 53,8%% não devem ser utilizadas como CAA em estruturas armadas. Dentre as adições apenas a fibra polimérica obteve resultados satisfatório quanto a habilidade passante pelo Método do Anel-J.

Dentre as misturas de CP II-E, 30,8% das misturas são enquadradas como PJ1, 38,5%% das misturas, são classificadas como PJ2 e 30,7% não devem ser utilizadas como CAA em estruturas armadas. Dentre as adições empregadas com CP II-E todas as adições apresentaram teores para classificar a mistura em PJ1, PJ2 e como sem habilidade passante, mostrando que o teor é o fator mais influente na habilidade passante para esse tipo de cimento.

4.3.1 Influência do Cimento

4.3.1.1 Espalhamento Inicial (15 minutos) e Final (30 minutos)

A Figura 45 evidencia o efeito dos cimentos sobre a trabalhabilidade do CAA ao longo do tempo de mistura e aplicação. Verifica-se que não existe diferença significativa (Tabela 109 à Tabela 113) entre os diferentes tipos de cimentos utilizados e a capacidade do concreto em fluir, lembrando que mesmo alterando-se o cimento foi realizada nenhuma alteração no traço inicial do CAA.

Para todos os cimentos utilizados tem-se a mesma classificação de espalhamento, SF2 para 15 minutos de mistura e SF1 para 30 minutos de mistura, além de valores próximos de espalhamento em ambos os casos.

O espalhamento encontrado para o CP V ARI aos 30 minutos de mistura foi superior aos demais cimentos devido ao fato da concretagem ter sido realizada em um dia mais quente, 30° C com 60% de UR, enquanto a temperatura da concretagem do CP II-Z foi de 20°C com UR de 64% e para o CP II-E de 24°C com UR de 65%.

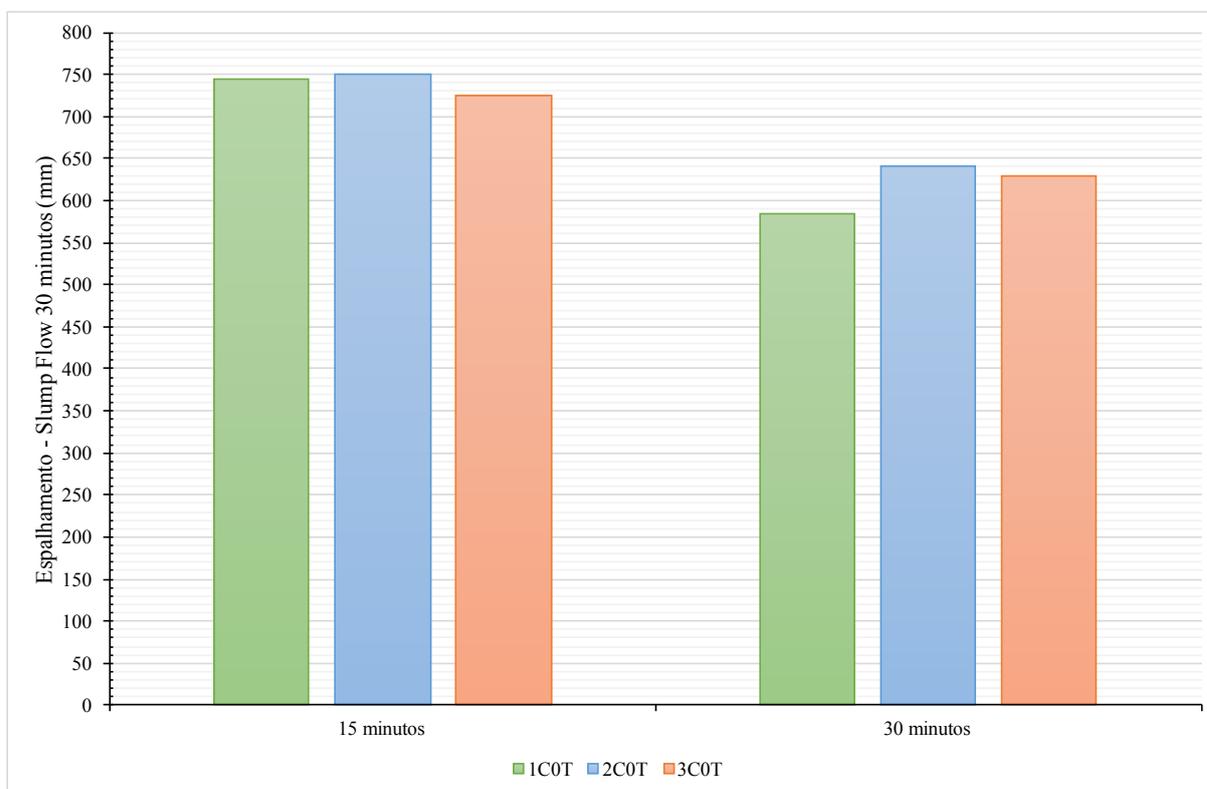


Figura 45: Influência do cimento na trabalhabilidade.

4.3.1.2 Perda de Trabalhabilidade

A perda de trabalhabilidade indicada na Figura 46, com análise de variância à 5% dada na Tabela 115 à Tabela 117 não indica perda significativa na perda de abatimento, a perda para o CP V ARI foi de 20% enquanto a média de perda para os cimentos compostos foi de 15%, essa perda superior do CP V ARI também não é considerada significativa tecnicamente uma vez que todas as misturas de controle apresentaram perda de trabalhabilidade suficiente para mudar de classe de espalhamento.

A perda de trabalhabilidade para o CP V ARI pode ser explicada pela condição climática no dia da realização dos ensaios, onde a temperatura estava próxima aos 30°C e a umidade relativa próxima aos 60%, enquanto para os demais cimentos a temperatura média de concretagem foi de 22°C e a umidade de 65%.

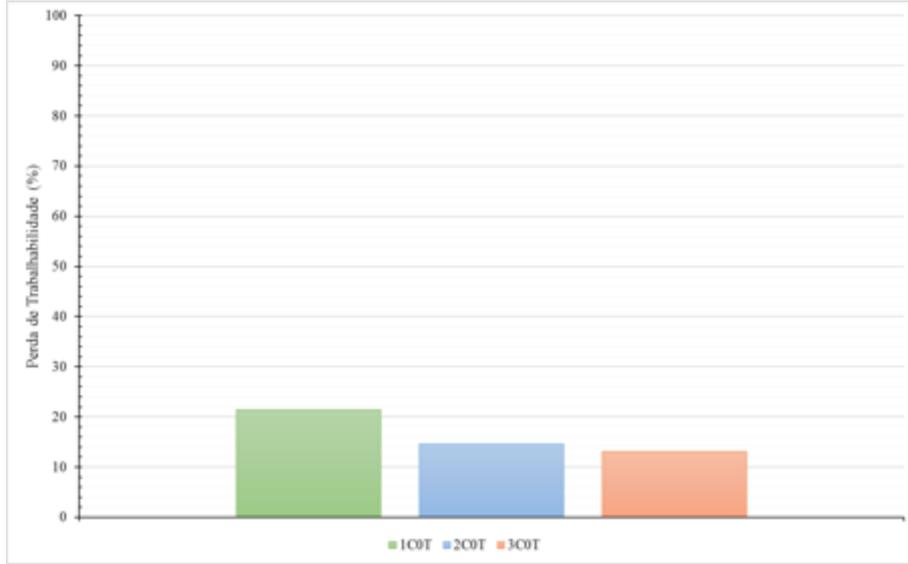


Figura 46: Influência do cimento na perda de trabalhabilidade.

4.3.1.3 Anel-J

Analisando-se o gráfico da Figura 47 e as imagens da Figura 48 pode-se concluir que o tipo de cimento não acarreta nenhuma perda de desempenho na habilidade passante do concreto, uma vez que a classe se mantém em PJ1 para o cimento CP V ARI e para o CP II-Z, enquanto a utilização do CP II-E apresenta classificação PJ2, fato que pode ser explicado pela diferença na umidade relativa do ar no dia da realização do ensaio.

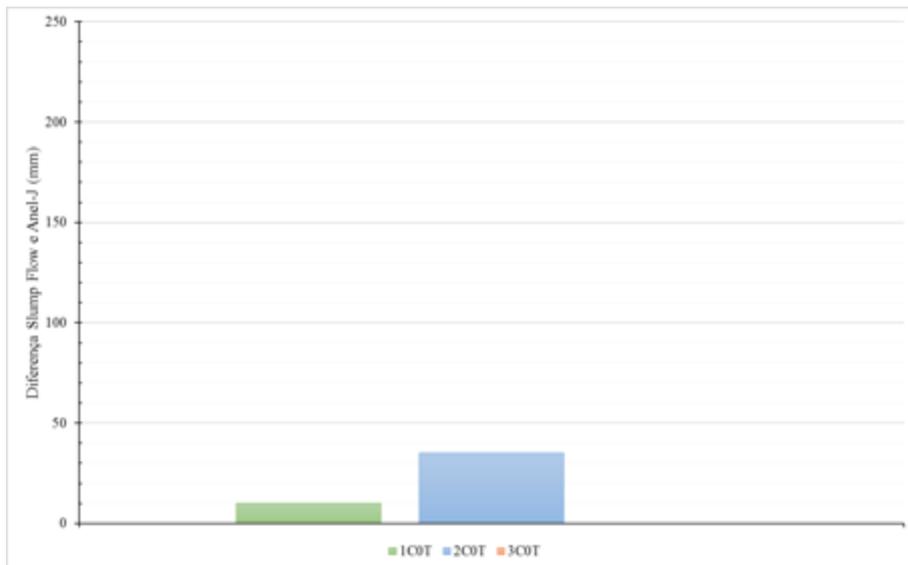
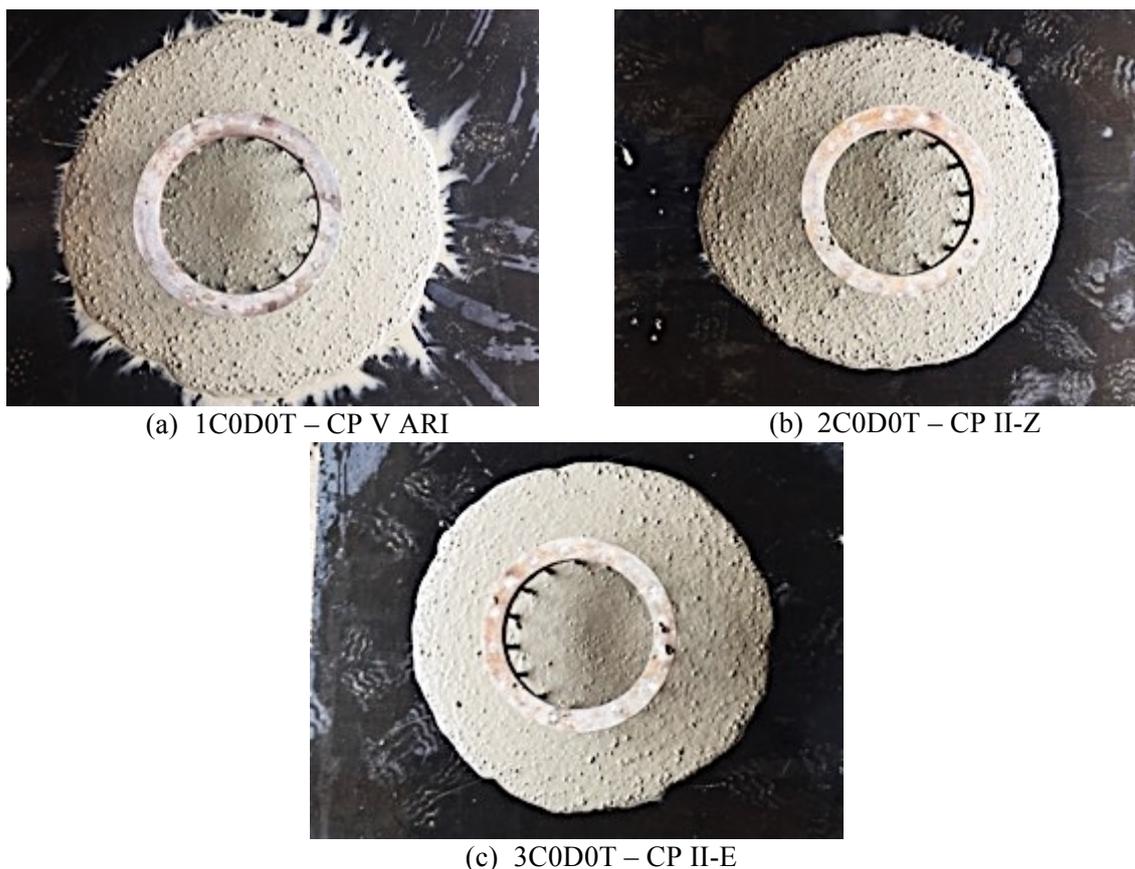


Figura 47: Influência do cimento na diferença entre Slump Flow e Anel-J.



(a) 1C0D0T – CP V ARI

(b) 2C0D0T – CP II-Z

(c) 3C0D0T – CP II-E

Figura 48: Influência cimento Anel-J.

4.3.2 Influência das Adições

4.3.2.1 Espalhamento Inicial (15 minutos) e Final (30 minutos)

Analisando-se a Figura 49 e as análises de variância da Tabela 109 à Tabela 111 indicam que, a adição tem uma influência significativa nos resultados de espalhamento inicial do CAA, ou seja, elas interferem na propriedade de fluidez do CAA de forma a ser necessário sempre avaliar o seu emprego, juntamente com o teor de adição antes da aplicação do CAA.

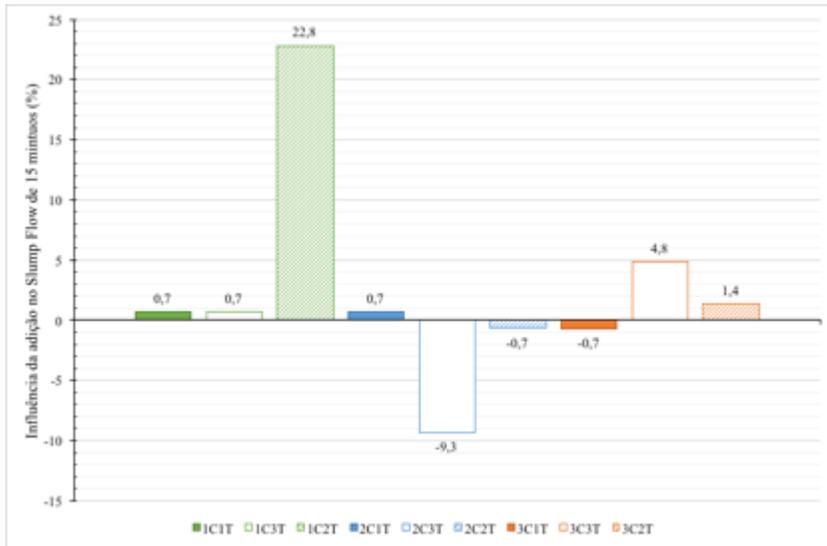
A Figura 49, apresenta a influência das adições na capacidade de fluir, sendo os resultados expressos em porcentagem em relação a mistura de controle para cada tipo de cimento. Sendo valores negativos para perda de fluidez e valores positivos para melhora da fluidez do concreto em relação a mistura de controle.

O emprego do SRA resulta em uma trabalhabilidade superior as demais adições, sendo inclusive ao teor de 2,0% um espalhamento de 930 mm para a mistura com CP V ARI e um menor espalhamento de 680 mm no teor de 1,5% para o cimento CP II-Z, sendo o teor de 1,0% o mais eficiente para os três cimentos.

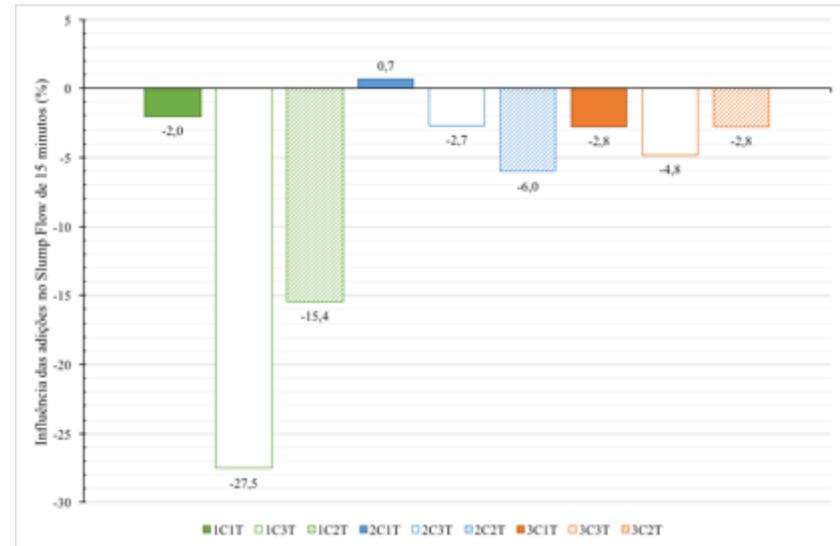
Analisando o efeito do CSA na trabalhabilidade inicial, observava-se uma alta variação dos resultados para o CP V ARI, tendo valores de espalhamento máximo de 750 mm e mínimo de 540 mm. O emprego do CSA foi mais efetivo no teor de 1,0% de adição a massa de cimento para qualquer um dos três cimentos analisados.

O efeito da FP não sofreu influência do teor de fibra empregado, tendo pouca variação dos resultados, obtendo-se a média de 700 mm para o espalhamento inicial. Dentre todas as adições empregadas a mesma também não sofre influência do tipo de empregado nas misturas.

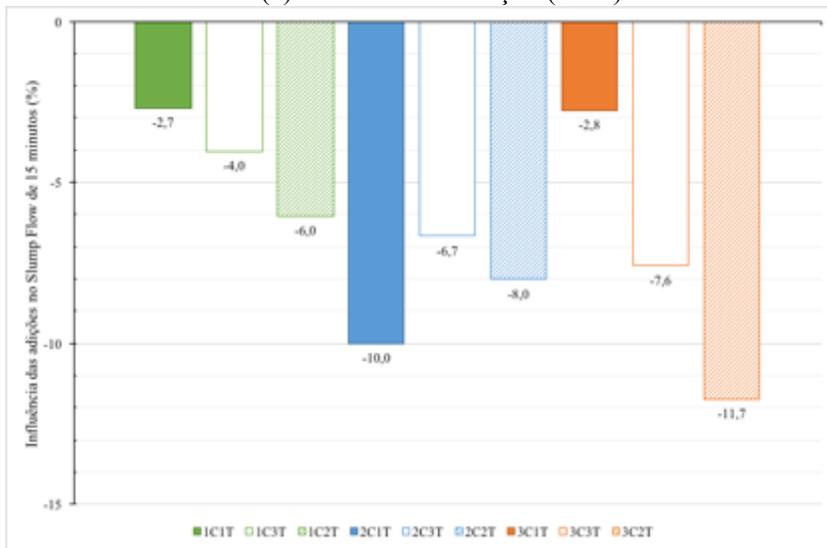
A aplicação do SAP no CAA sofre influência do teor empregado, onde quanto maior o teor menor o espalhamento inicial, resultado esperado visto a característica do SAP de absorver a água livre da mistura. O espalhamento máximo obtido no emprego do SAP foi de 740 mm no teor de 0,10% de adição à massa do cimento e mínimo para o teor de 0,20% em todos os cimentos analisados.



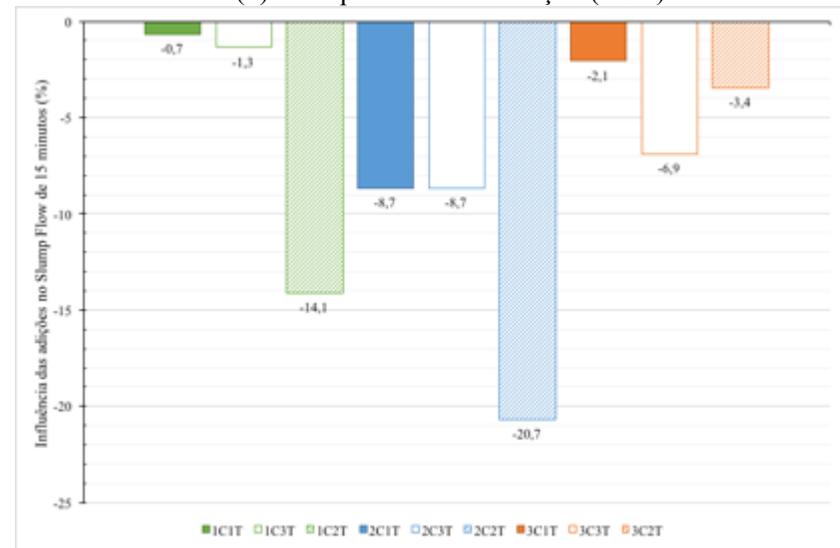
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SAP).

Figura 49: Influência das adições na trabalhabilidade inicial, 15 minutos de mistura.

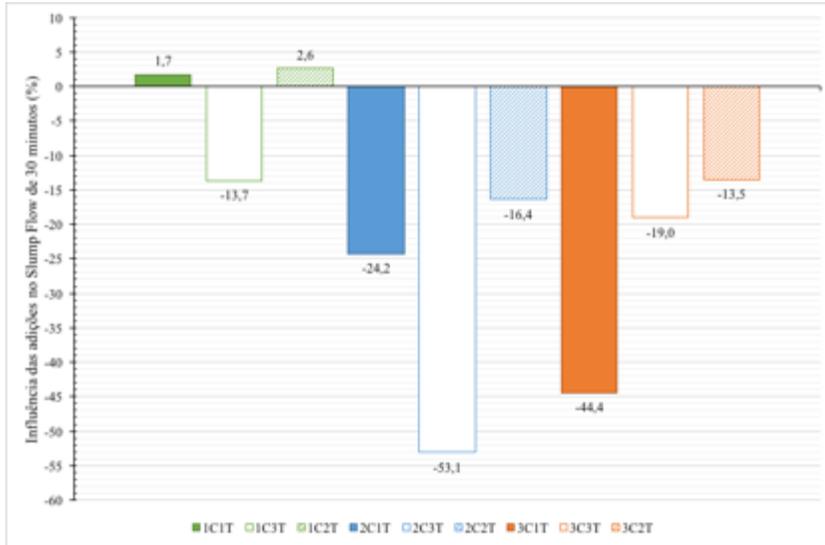
A Figura 50 e as análises de variância da Tabela 110 à Tabela 112 indicam que a adição o tipo de cimento e o teor da adição podem ser considerados como influentes na trabalhabilidade do concreto aos 30 minutos. A Figura 50, apresenta a influência das adições expressa em porcentagem em relação a mistura de controle para cada tipo de cimento. Sendo valores negativos para perda de fluidez e valores positivos para melhora da fluidez do concreto em relação a mistura de controle.

O SRA apresenta alta variabilidade nos valores de espalhamento aos 30 minutos. Verifica-se que o teor de aplicação do SRA depende do tipo de cimento utilizado, uma vez que para o CP V ARI e para o CP II-Z os teores de 1,0% e 2,0% apresentam valores superiores ao teor de 1,5% enquanto que para o CP II-E os melhores resultados são para os teores de 1,5% e 2,0%, no entanto apenas a mistura de CP II-E com 1,0% de SRA mantém-se autoadensável com o passar do tempo de mistura.

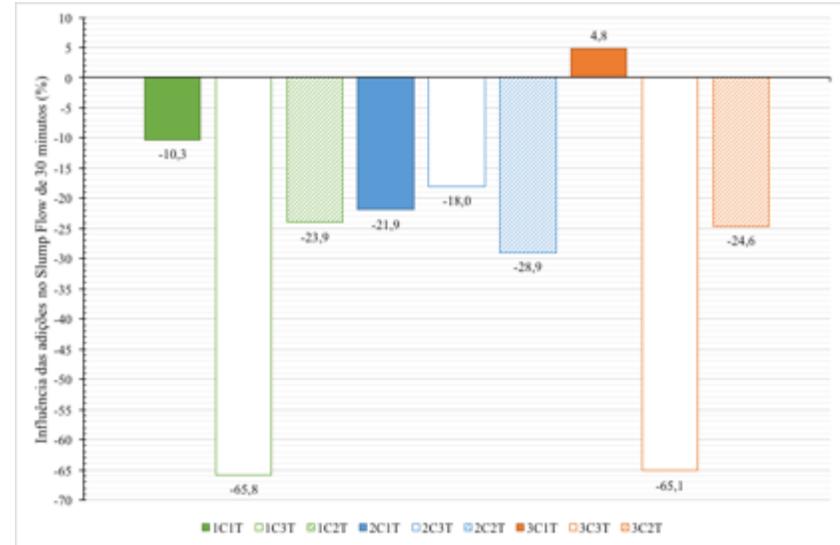
O emprego do CSA apresentou grande variabilidade quanto ao emprego com CP V ARI e CP II-E, onde as misturas encontraram-se abaixo do limite de autoadensabilidade para todos os teores utilizados com CP V ARI e CP II-Z. A mistura de CP II-E com adição de 3%, em relação a massa de cimento, apresentou espalhamento superior à 550 mm.

Adicionando-se a FP aos concretos verificou-se que com o passar do tempo de mistura é perdido trabalhabilidade abaixo do limite considerável CAA para as adições nos teores de 0,05% e 0,20% quando da combinação com o CP II-Z e nos teores de 0,15% e 0,20% para o cimento CP II-E, sendo que nas demais composições a incorporação da FP não foi prejudicial no espalhamento do concreto.

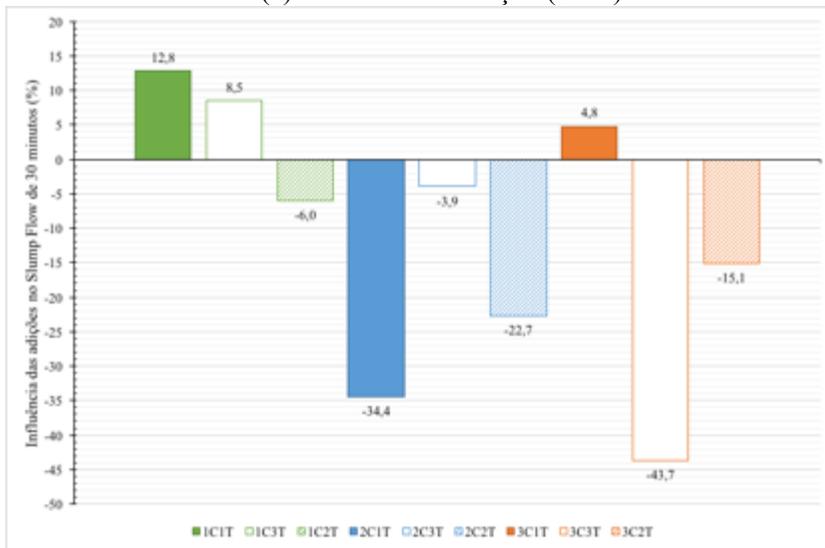
Verifica-se que incorporando SAP as amostras de CAA 88,9% das misturas não são autoadensáveis após 30 minutos de mistura, sendo que somente a incorporação de 0,10% à massa de cimento CP V ARI é considerada autoadensável após esse período.



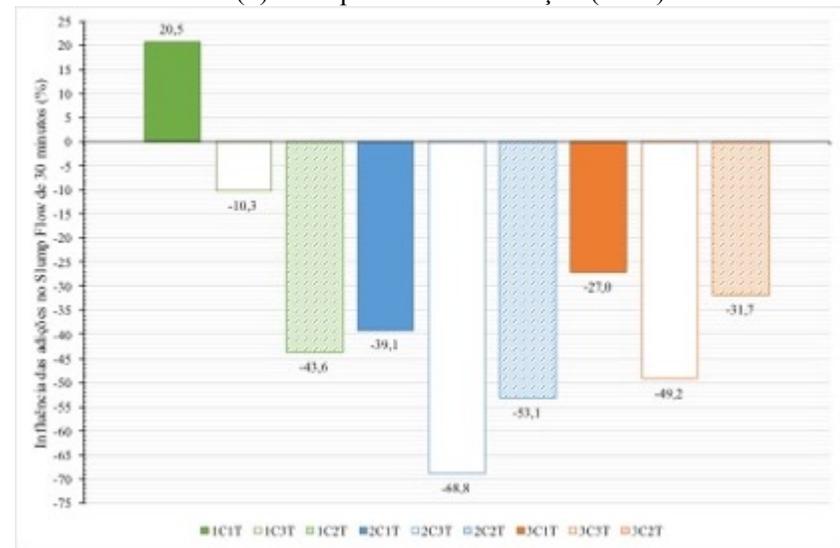
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SPA).

Figura 50: Influência das adições na trabalhabilidade final, 30 minutos de mistura.

4.3.2.2 Perda de Trabalhabilidade

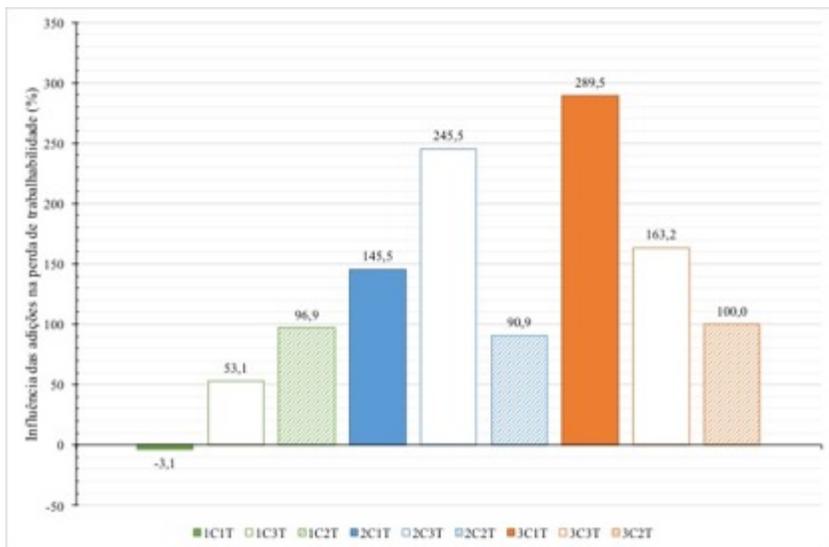
A Figura 51 e as análises de variância da Tabela 115 à Tabela 117 indicam que a adição o tipo de cimento e o teor da adição podem ser considerados como influentes na perda de trabalhabilidade, uma vez que foram fatores significantes no resultado do espalhamento dos concretos após 30 minutos de mistura. A Figura 51 apresenta a influência das adições na perda de trabalhabilidade.

O emprego de SRA resultou em uma perda média de 35% considerando todos os cimentos e teores empregados. Verifica-se que a perda de trabalhabilidade com a adição de SRA depende do tipo de cimento, uma vez que os teores que apresentaram maiores reduções na trabalhabilidade foram 2,0% para o CP V ARI, 1,5% para o CP II-E e de 1,0% para o CP II-E. Pode-se verificar que as misturas que apresentaram o maior espalhamento inicial obtiveram as maiores reduções de espalhamento com o passar do tempo.

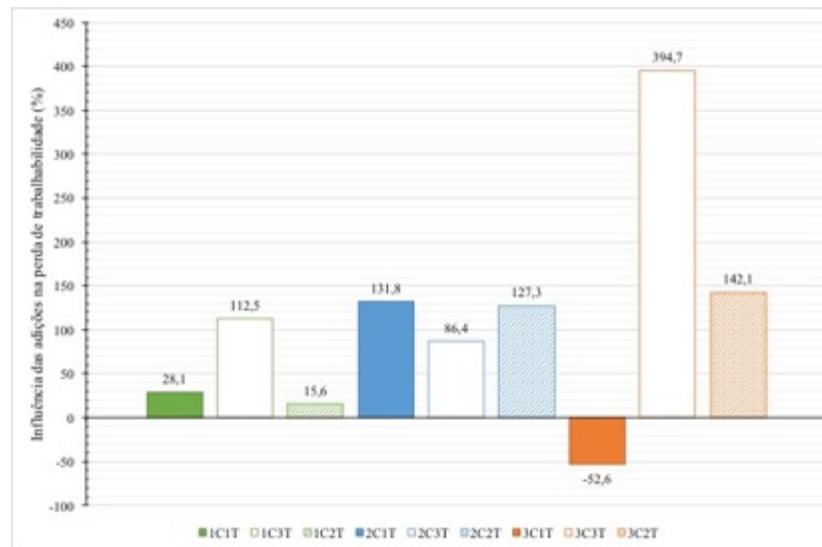
A perda média para o emprego de CSA foi de 36%, próxima ao valor obtido com a incorporação do SRA, no entanto verifica-se a tendência de que a adição de 5% de CSA nos três cimentos empregados no estudo, influenciam na perda de abatimento em mais de 60% para o CP V ARI e para o CP II-E, enquanto que para o CP II-Z ocorre a menor perda do espalhamento, sendo apenas de 28%. Pode-se considerar como teor ideal de CSA para que não ocorra influência significativa na fluidez do CAA em 3% da massa de cimento. Para o CSA não foi encontrada relação entre o espalhamento inicial e a perda do abatimento ao longo do tempo.

A incorporação da fibra polimérica no CAA resultou em uma perda de trabalhabilidade média de 21%, sendo a adição menos influente na perda de trabalhabilidade do concreto. Verifica-se que o teor da FP apresenta teores ideais de adição para o tipo de cimento utilizado, em adição ao CP V ARI e ao CP II-E a menor perda de trabalhabilidade foi encontrada para a adição de 0,10%, quanto que para o CP II-Z o teor ótimo é de 0,15%.

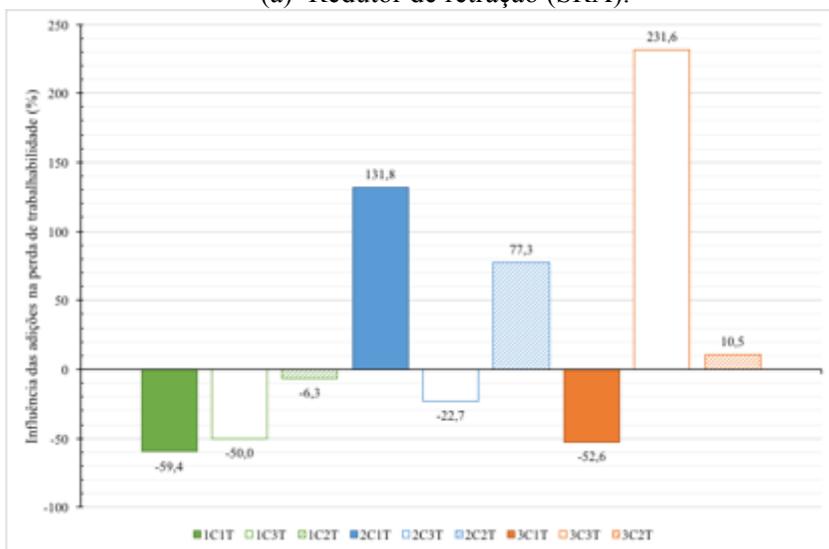
Verifica-se que a adição de SAP ao CAA desencadeia uma perda média da trabalhabilidade de 41%, sendo a adição que mais afeta a propriedade de fluidez do concreto, tanto no espalhamento inicial quanto final, sendo que quanto maior o espalhamento inicial das amostras maior é a perda de trabalhabilidade com o tempo. Para o CP V ARI existe a relação de quanto maior o teor incorporado maior a perda de trabalhabilidade enquanto que para os cimentos compostos o teor de adição de 0,15% propiciou a maior perda da fluidez, contudo indica-se como teor ótimo, de adição ao CAA, de 0,10%.



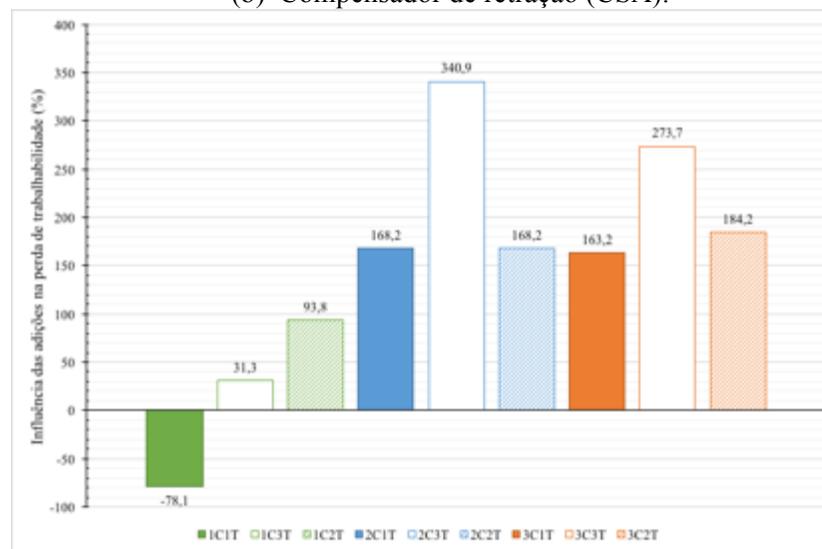
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SAP).

Figura 51: Influência das adições na perda de trabalhabilidade.

4.3.2.3 Anel-J

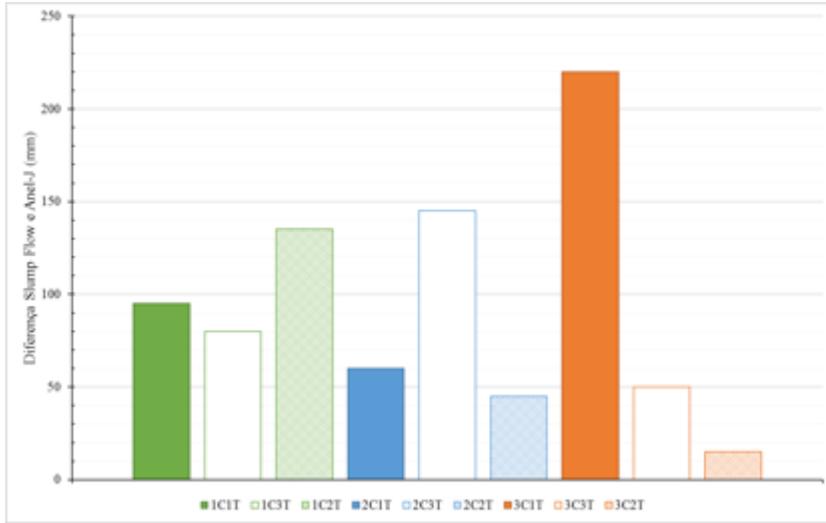
A propriedade de habilidade passante definida pela diferença do espalhamento pelo slump Flow livre e do slump Flow com o anel de restrição em relação ao tipo de adição utilizada, é apresentada na Figura 52 e as análises de variância são verificadas da Tabela 121 à Tabela 123. Analisando-se a ANOVA verifica-se que o tipo de adição utilizada apresenta influência significativa na propriedade de habilidade passante do CAA, não sendo verificado uma tendência de comportamento conforme o teor da adição utilizada.

Ao analisar-se o efeito da incorporação do SRA ao CCA quanto à influência na habilidade passante verifica-se apenas três amostras poderiam se enquadrar como CAA quanto a habilidade passante, sendo essas misturas a incorporação de 2,0% no CP II-Z e de 1,5% e 2,0% para o CP II-E. Em uma análise geral verifica-se que o melhor teor de incorporação de 2,0%.

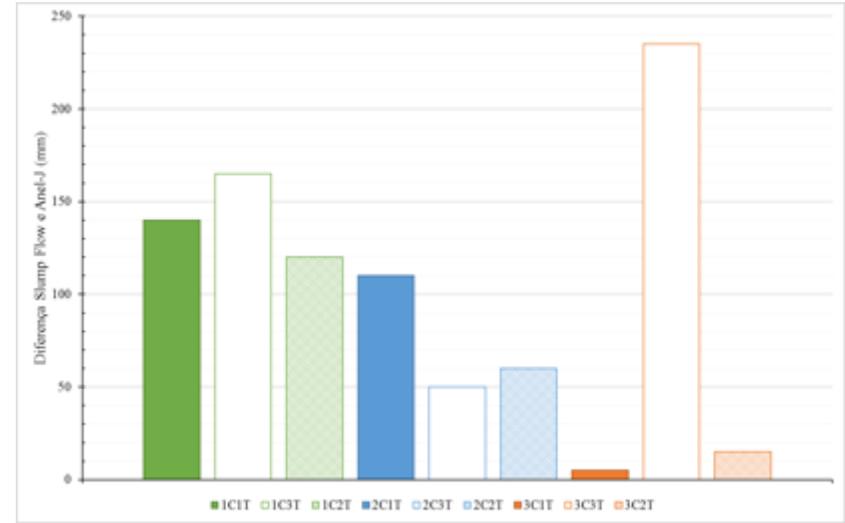
A manutenção da habilidade passante com o emprego de CSA só foi verificada para as misturas de 5,0% para o CP II-Z e de 3,0% e 7,0% para o cimento CP II-E sendo que nenhuma das misturas de CSA com CP V ARI obtiveram resultados significativos para serem classificadas como CAA. Em comparação com o emprego do SRA a incorporação do CSA apresentou CAA com piores resultados quanto a habilidade passante, sendo considerado como um teor ideal de aplicação o teor de 7,0% de adição à massa de cimento.

A incorporação de FP ao CAA apresenta os melhores resultados em relação as demais adições uma vez que apresenta apenas 22,2% das misturas não classificadas em CAA devido à falta da habilidade passante. Avaliando-se os teores de adição verifica-se que a incorporação de 0,05% é o mais indicado para manter a habilidade passante dentro da classificação PJ1.

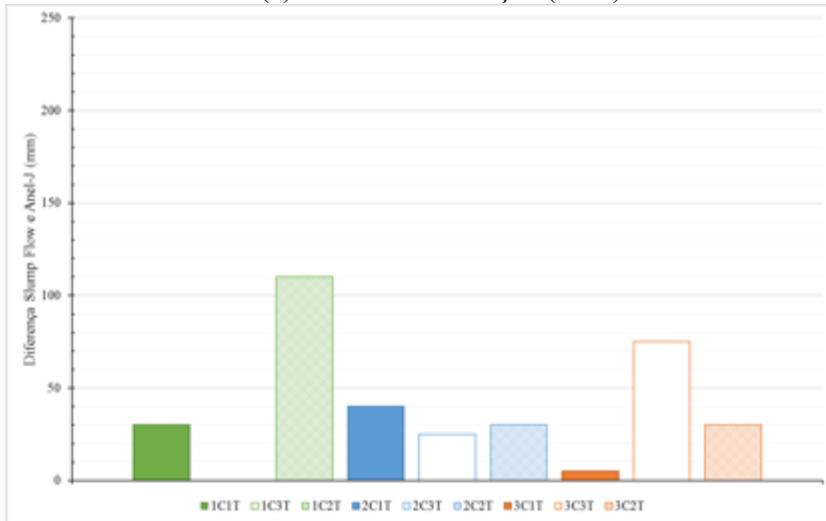
Adicionando-se SAP ao CAA verifica-se uma perda da habilidade passante em 56,6% das misturas, sendo que os teores de adição sofrem influência do tipo de cimento empregado, onde os piores resultados são encontrados para o cimento CP II-Z, sendo verificado que o melhor teor de aplicação é de 0,10% em relação a massa de cimento.



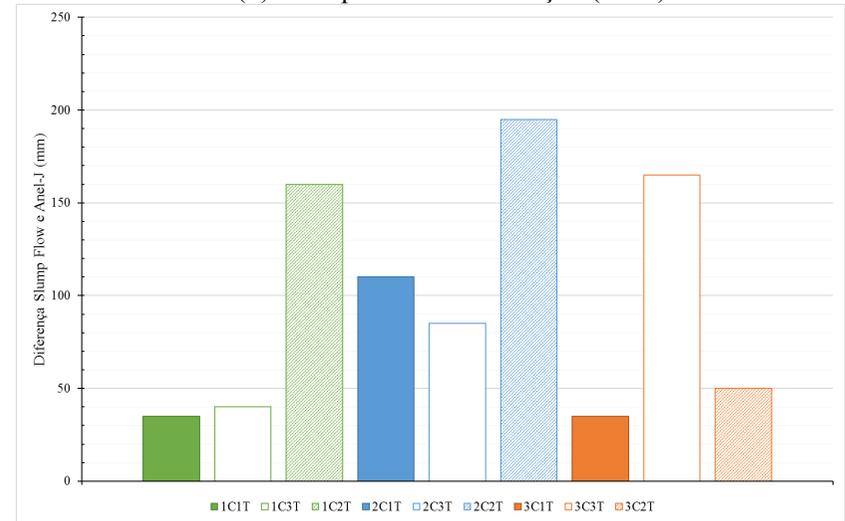
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SAP).

Figura 52: Influência das adições na diferença entre espalhamento e anel-J.

4.4 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

Para cada amostra foram realizados os ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade para três corpos de prova na idade de 7 e de 28 dias. Os resultados das médias avaliadas são apresentadas na Figura 53 para resistência à compressão, Figura 54 para os resultados de módulo e na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

A influência das variáveis do tipo de cimento, tipo de adição e teor incorporado; nos resultados de resistência à compressão, módulo de elasticidade foram avaliadas com a comparação de análise de variância com nível de significância de 5%, sendo os resultados apresentados no Apêndice D, com verificação da interação tripla (Tabela 124, Tabela 127, Tabela 130, Tabela 133), interação dupla (Tabela 125, Tabela 128, Tabela 131, Tabela 134) e interação simples (Tabela 126, Tabela 129, Tabela 132, Tabela 135). Os resultados da variância mostram que os cimentos atuam significativamente no resultado de resistência a compressão aos 7 dias e aos 28 dias, no resultado de módulo de elasticidade os 7 dias, enquanto que o cimento e as adições apresentam ações significativas no módulo de elasticidade aos 28 dias.

A Figura 53 apresenta os resultados para resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias verifica-se que as amostras obtiveram resistência superiores a 30 MPa aos 7 dias para todas as amostras, sendo que a diferença de resistência entre o CP V ARI e os cimentos compostos foi de 18,7% aos 7 dias. Para os resultados aos 28 dias estatisticamente não foi significante, no entanto o CP II-Z apresentou uma diferença de 19% a baixo dos valores de resistência para o CP V ARI e para o CP II-E, resultado que pode ser explicado pelo baixo desenvolvimento da resistência até os 90 dias para cimentos com pozolanas. Observa-se também que as utilizações das adições mitigadoras de retração possibilitam atingir maiores resistências do que as misturas de controle tanto para 7 quanto para 28 dias.

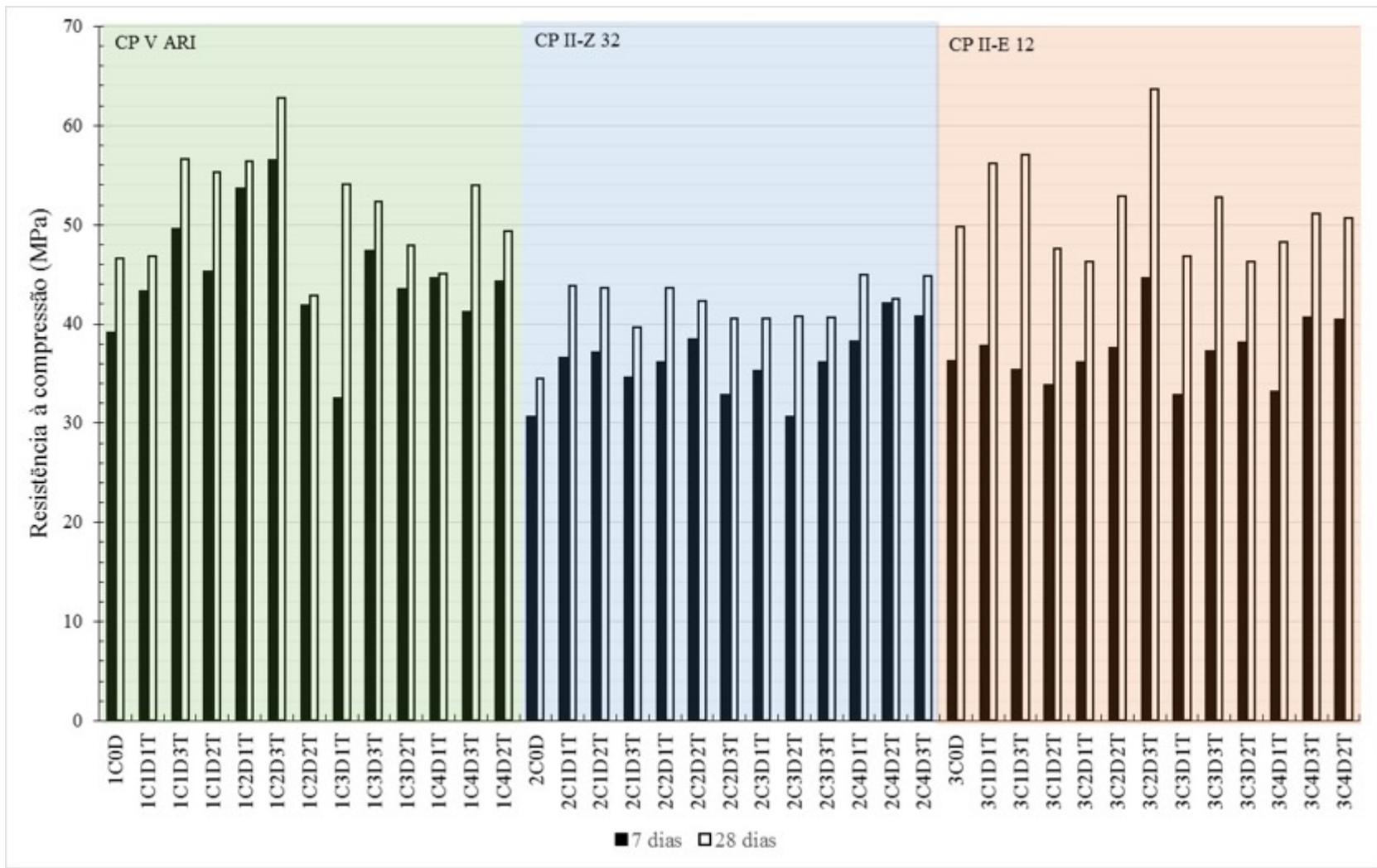


Figura 53: Ensaio de resistência à compressão para todas as misturas.

A Figura 54 exibe os resultados de módulo de elasticidade aos 7 e aos 28 dias, verifica-se que o módulo de elasticidade sofre grande variação do tipo de cimento e da adição utilizada, sendo que os maiores valores de módulo tanto aos 7 quanto aos 28 dias são encontrados em misturas contendo CP V ARI, depois CP II-Z e os menos para o CP II-E. O módulo de elasticidade tem tendência de crescimento dos 7 para os 28 dias da mesma forma que a resistência à compressão. Verifica-se que a agregação das adições ao CP V ARI reduz o módulo de elasticidade em relação ao controle enquanto que para os cimentos compostos existe a tendência de aumento do módulo.

A Figura 55 compara os resultados de módulo de elasticidade obtidos no ensaio conforme a NBR 8522 em relação a predição da NBR 6118 (2013), item 8.2.8, calculado pela Equação 3.

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}, \text{ para } f_{ck} \text{ de } 20 \text{ MPa a } 50 \text{ MPa}$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{1/3}, \text{ para } f_{ck} \text{ de } 25 \text{ MPa a } 90 \text{ MPa}$$

Equação 3

Onde:

E_{ci} : Módulo de elasticidade característico, em mega Pascal;

f_{ck} : Resistência característica à compressão, em mega Pascal;

α_E : Coeficiente de correção para o tipo de agregado, no caso 1,2 para agregados basálticos

Verifica-se que o método de predição da NBR 6118 (2003) não se aplica ao concreto autoadensável, uma vez que para o cimento CP V ARI CP II-E o módulo real do concreto é superior ao valor predito pela NBR 6118 (2003), enquanto que para o CP II-Z ocorre o contrário o módulo predito é superior ao módulo real. O modo de predição da NBR 118 (2013), leva em conta o tipo de agregado utilizado na mistura de concreto, sendo que verifica-se que para o mesmo traço de CAA, o tipo de cimento é mais influente nos resultados de predição.

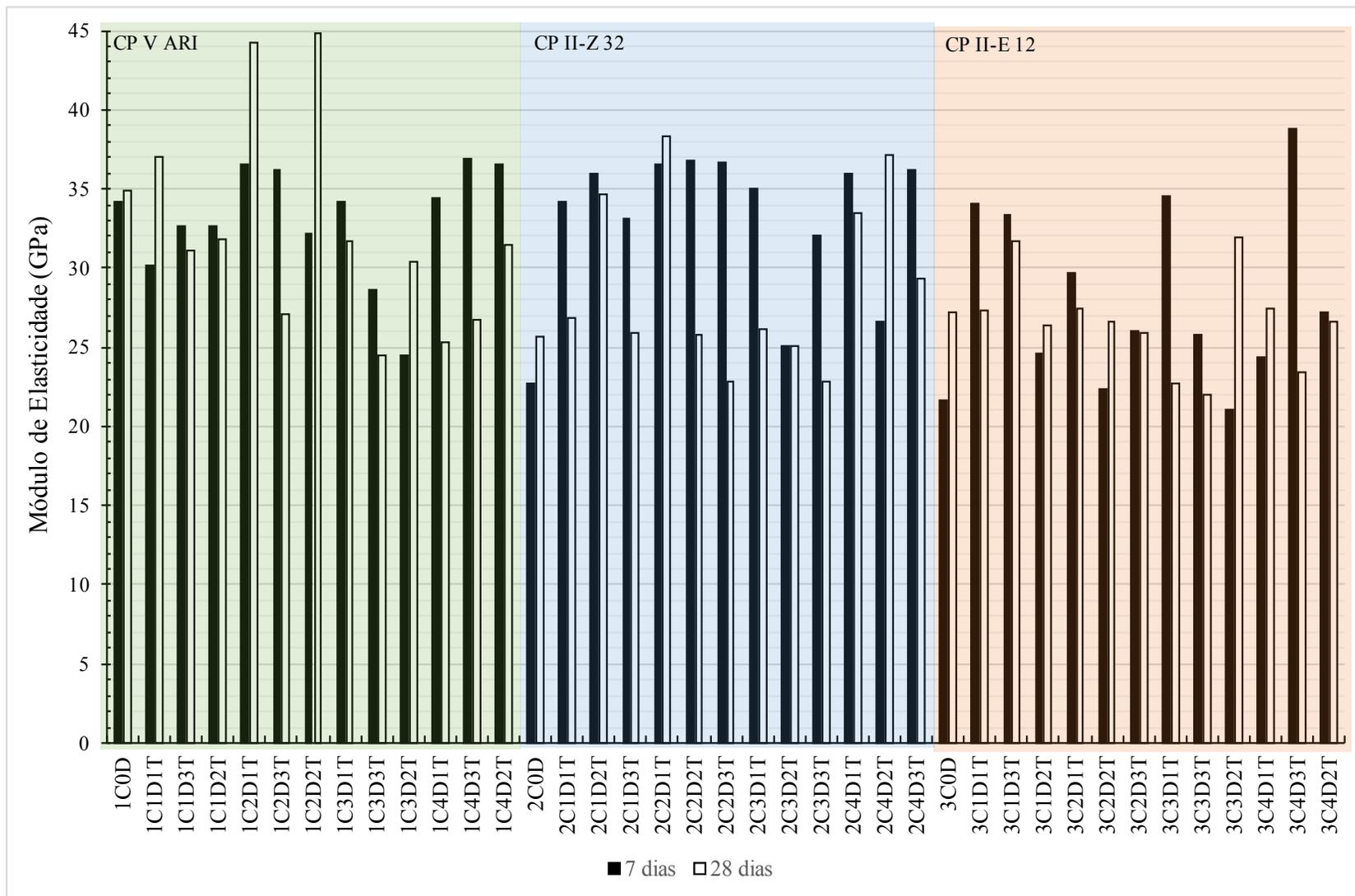


Figura 54: Ensaio de módulo de elasticidade para todas as misturas

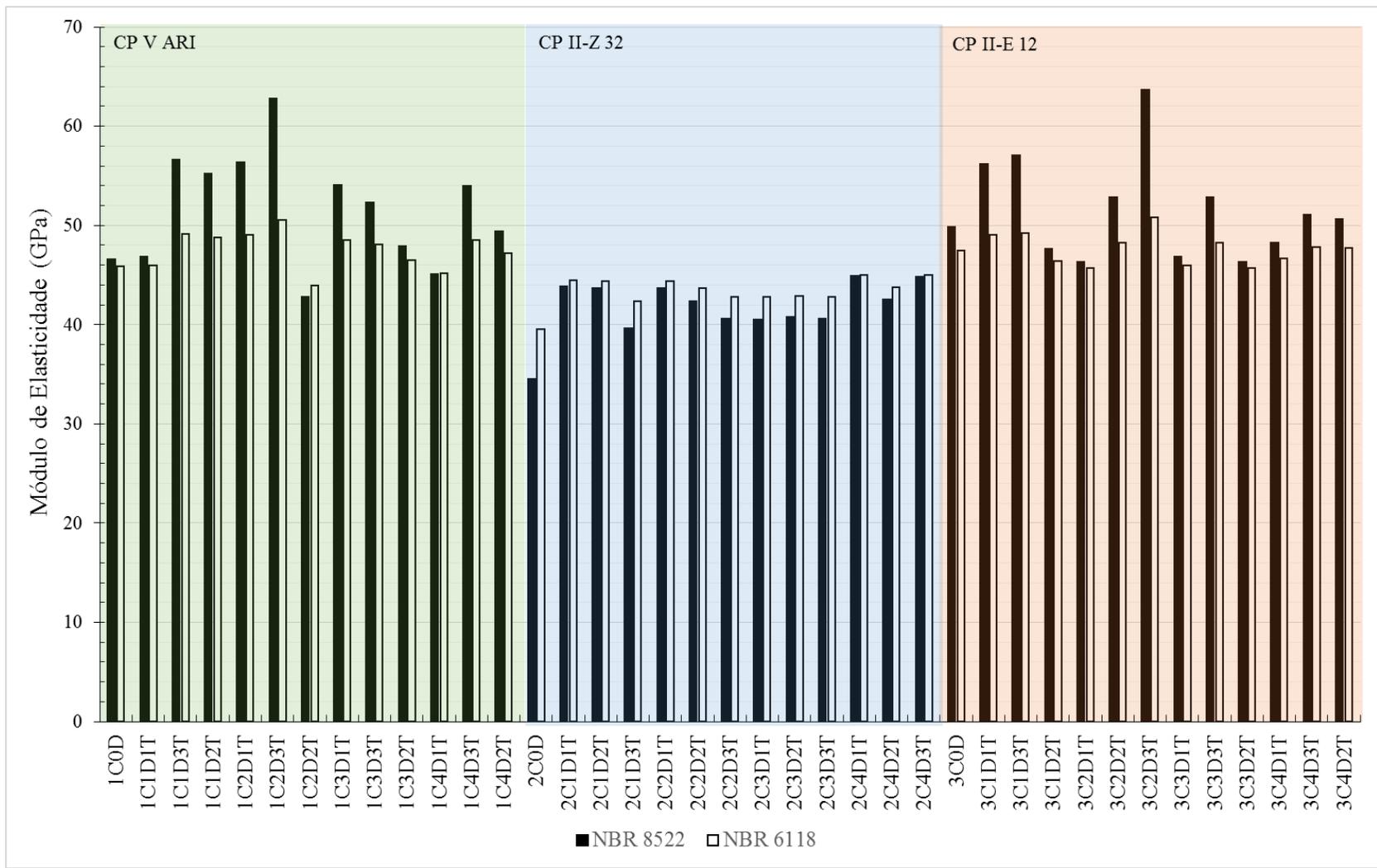


Figura 55: Módulo de Elasticidade aos 28 dias pela NBR 6118 e NBR 8522.

4.4.1 Influência do Cimento

4.4.1.1 Resistência à Compressão

A Figura 56 apresenta a influência do cimento na resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias.

Verifica-se que o emprego do CP V ARI apresenta resistências superiores a 21,6% para o CP II-Z e superior 7,2% ao CP II-E na idade de 7 dias, enquanto que para os 28 dias a diferença é de 25,9% superior ao CP II-Z e 6,9% inferior ao CP II-E.

A diferença da resistência deve-se ao processo de hidratação dos cimentos, onde o cimento CP V ARI apresenta um maior blaine, é mais fino e, portanto, mais reativo que os demais, resultando em resistências superiores aos demais nas idades iniciais, no entanto com a maturação do concreto tem-se um acréscimo maior de resistência para o cimento composto de escoria, uma vez que a hidratação da escoria resulta em compostos mais estáveis e resistentes que os compostos do clínquer puro do CP V ARI. Por outro lado, o incremento de resistência do CP II-Z é muito baixo em relação aos demais, elevando a resistência em apenas 12,7% durante 21 dias, fato que pode ser explicado pela baixa reatividade da reação pozolânica.

A resistência média (considerando também os diferentes tipos de adições) da resistência do CP V ARI aos 7 dias foi de 44,8 MPa e de 51,5 MPa aos 28 dias, acréscimo de 15%, já o CP II-Z apresentou 36,1 MPa e 41,7 MPa, aos 7 e aos 28 dias respectivamente, taxa de acréscimo de 15,5%, enquanto que o CP II-E apresentou taxa de crescimento de 38,3%, 37,24 MPa aos 7 dias e 51,5 MPa aos 28 dias.

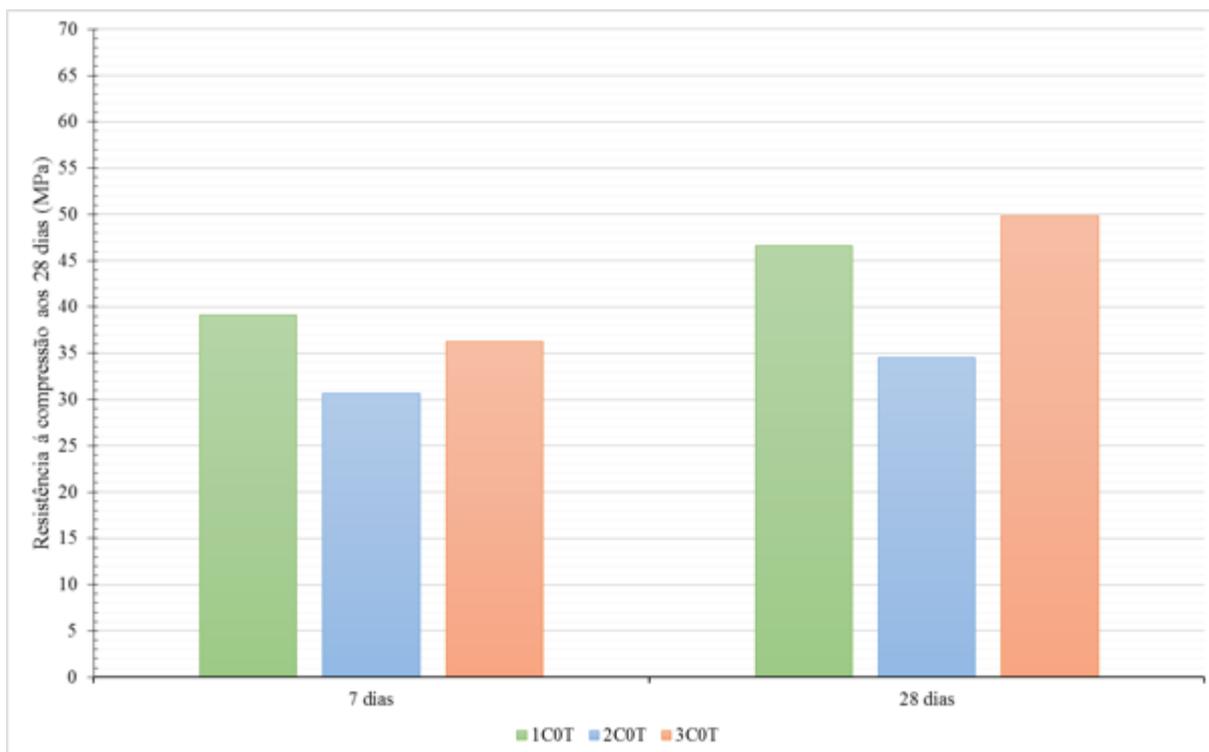


Figura 56: Influência do cimento na resistência à compressão.

4.4.1.2 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade é afetado por diversos fatores como condições de carregamento e umidade do corpo de prova, módulo de elasticidade da matriz da pasta de cimento (porosidade), composição e porosidade da zona de transição, módulo de elasticidade e fração volumétrica do agregado (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Como não houve alteração no traço do CAA e as condições de exposição foram as mesmas para todos os corpos de prova ensaiados à compressão podemos julgar que a variação do módulo de elasticidade entre as amostras é decorrente da alteração da zona de transição e da porosidade da matriz cimentícia.

Verifica-se na Figura 57 que a utilização de cimentos mais finos como o CP V ARI e o CP II-E (ensaio de blaine realizado e dados apresentados na Tabela 6) apresentam módulo de elasticidade superiores ao CP II-Z, uma vez que apresentam maior densificação da matriz cimentícia, e, conseqüentemente, menor porosidade, ou poros com menores diâmetros.

Observa-se também que o módulo de elasticidades sofre um acréscimo entre 7 e 28 dias em uma taxa menor do que a taxa de crescimento da resistência à compressão, uma taxa média de 21,3% para o módulo enquanto a compressão foi de 23,0%, fato que pode ser explicado pela lenta hidratação da zona de transição dos agregados, onde a densificação da zona

de transição, interfere mais no módulo de elasticidade do que na resistência à compressão dos concretos.

O módulo de elasticidade médio para os cimentos ao 7 e 28 dias foi de 29,8 GPa e 35,6 GPa para o cimento CP V ARI; 27,6 GPa e 34,0 GPa para o CP II-Z e de 24,7 GPa e 29,9 GPa para o CP II-E. Pode-se dizer que a maior taxa de ganho do módulo foi para o CP II-Z, 23,2%, podendo ser explicado pelo refinamento da zona de transição causado pela reação pozolânica da adição de cinza volante ao cimento. Contudo, esse refinamento de poros e efeito filer, tanto na matriz, quanto na zona de transição, não foram capazes de propiciar os concretos produzidos com CP II-Z, maiores módulos de deformabilidade

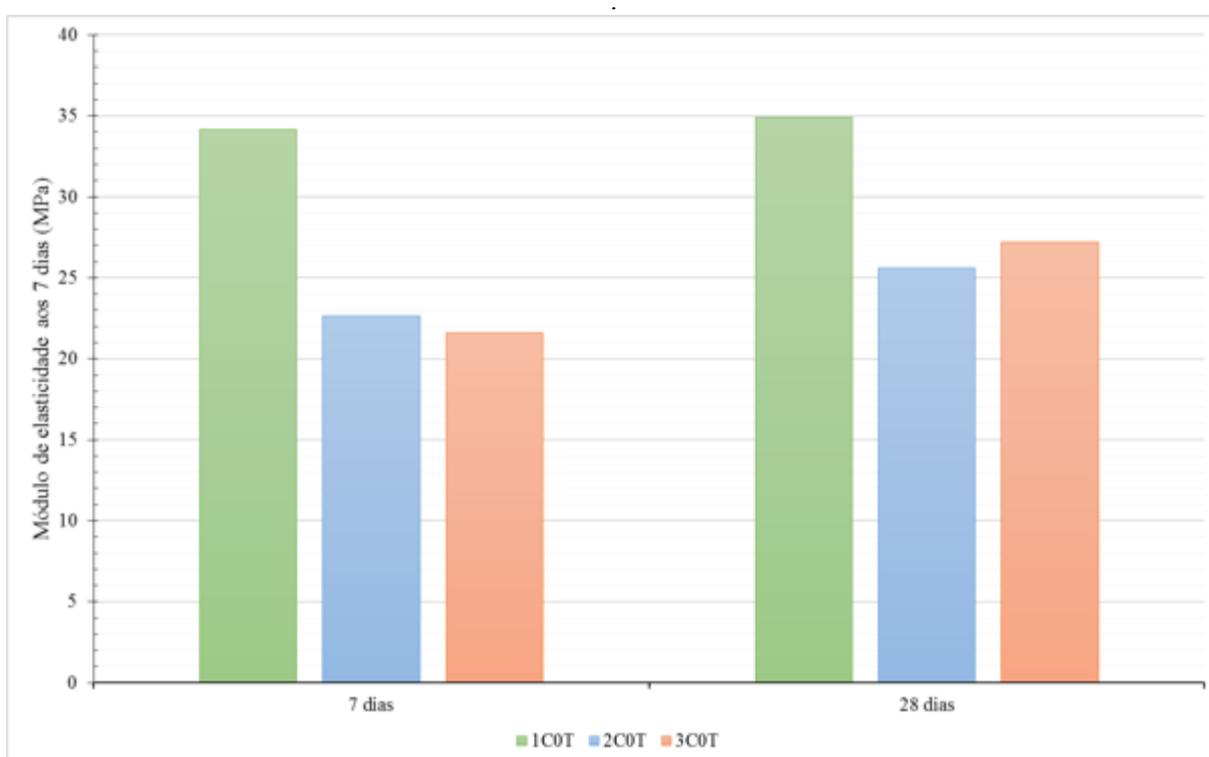


Figura 57: Influência do cimento no módulo de elasticidade.

4.4.2 Influência das Adições

4.4.2.1 Resistência à Compressão

A resistência à compressão não é um fator determinante na aplicabilidade do CAA, visto que concretos autoadensáveis apresentam baixa relação a/c , utilização de aditivos redutores de água, incorporação de adições minerais e de um alto consumo de cimento; o que contribuem para resultados de compressão superiores aos concretos comuns. As resistências para os concretos estudados nessa pesquisa são superiores à 30 MPa aos 7 dias, podendo ser

aplicados em estruturas pré-moldadas e com resistência superior a utilizadas, comumente, em projetos estruturais convencionais de 20-25 MPa.

A Figura 58 apresenta os resultados para resistência a compressão aos 7 dias e a Figura 59 a resistência aos 28 dias, sendo agrupada os tipos de adições empregados, onde valores positivos aumentam a resistência, e valores negativos reduzem a resistência, em relação as misturas de controle para cada tipo de cimento. As adições utilizadas apresentam características diferentes quanto a interação química e física com CAA, adições como o SRA e o CSA apresentam reações químicas e físicas enquanto que a adição de FP e do SAP contribuem apenas fisicamente como as propriedades dos concretos.

A resistência do CAA com CP V ARI controle foi de 39 MPa aos 7 dias, considerando a aplicação das adições verifica-se que apenas uma mistura não atingiu a resistência de controle, sendo a adição de fibra polimérica no teor de 0,05%, aos 28 dias o controle apresentou 46,6 MPa sendo que apenas a mistura de 0,10% de polímero superabsorvente não atingiu a resistência. Ao considerar as misturas com CP II-Z verifica-se que todas as adições resultaram em resistências superiores, tanto aos 7 quanto aos 28 dias, em relação a resistência da mistura de controle. O emprego de 2,0% de SRA, 3,0% de CSA, 0,05% de FP e 0,10% de SAP ao cimento CP II-E não foram suficientes para superar a resistência do controle, aos 7 dias, enquanto que aos 28 dias as adições de 2,0% SRA, 3,0% de CSA, 0,05% e 0,15% de FP e 0,10% de SAP não obtiveram resistências superiores à 49,8 MPa de resistência para a mistura controle.

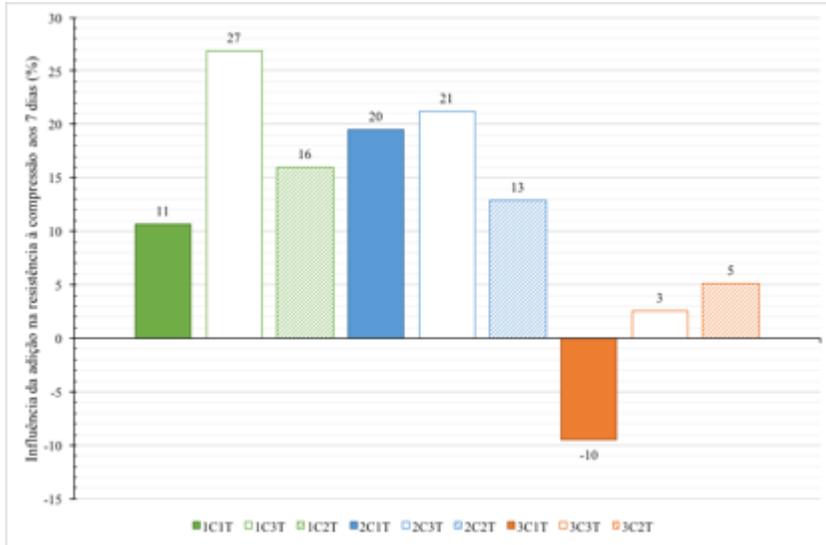
Os teores de adição de SRA nas misturas de CAA com aditivo redutor de retração (SRA) apresentam comportamento distintos quando analisados com os tipos de cimento utilizados, sendo que as maiores resistências foram obtidas para a adição de 1,5% nos cimentos CP V ARI e CP II-Z, enquanto que o acréscimo de SRA resulta no aumento da resistência para o CP II-E. Verifica-se um acréscimo médio em relação a resistência do controle de 11,8%. Podendo ser considerado como ideal a utilização de 1,5% de adição à massa de cimento.

O emprego de CSA resultou em resistências aos 7 dias superiores as demais adições sendo um acréscimo médio de 18,4% em relação ao controle. Por se tratar de um tipo de cimento aluminoso do tipo K apresenta composições de C3S e C2S diferentes do clínquer do cimento Portland resultando em uma maior resistência quando da adição aos cimentos puros como CP V ARI. Para o cimento com adição de escoria verifica-se a tendência de que quanto maior a adição de CSA maior a resistência à compressão, entanto que para os demais cimentos o teor ideal de adição, fica em torno de 5,0%.

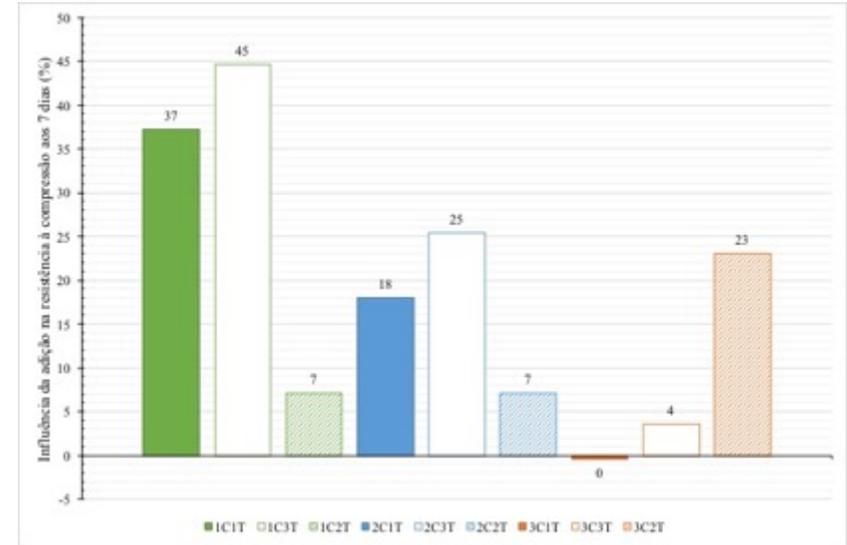
A adição de FP ao concreto autoadensável resultou em um acréscimo de resistência em relação ao controle de aproximadamente 5%. Verificou-se que nos concretos autoadensáveis produzidos com cimentos compostos, o aumento no teor de fibras resultou em acréscimo da resistência a compressão. Podendo ser explicado pelo aumento da densidade, ou uma melhor cura interna que propicia a melhor hidratação dos componentes. Para o CP V ARI existe a análise de que o teor ideal de mistura é de 0,10% sendo que acréscimo superior a esse valor pode atrapalhar o processo de adensamento dos corpos de prova e resultar em menores resistências. Pode-se considerar como teor ideal de adição 0,15% em relação a massa de cimento.

A incorporação de SAP resulta em um acréscimo médio de resistência de 15,9% em relação à resistência de controle. Pode-se considerar 0,15% como teor ideal de adição ao CAA para garantir um crescimento da resistência aos 7 dias, sendo que a variação dos teores de adição não influencia significativamente nos valores de resistência aos 7 dias, sendo necessário avaliar outras características do concreto para definir o teor de 0,15% como ideal. A incorporação de SAP pode ser considerada como um procedimento de cura interna do concreto o que garante um melhor grau de hidratação do cimento.

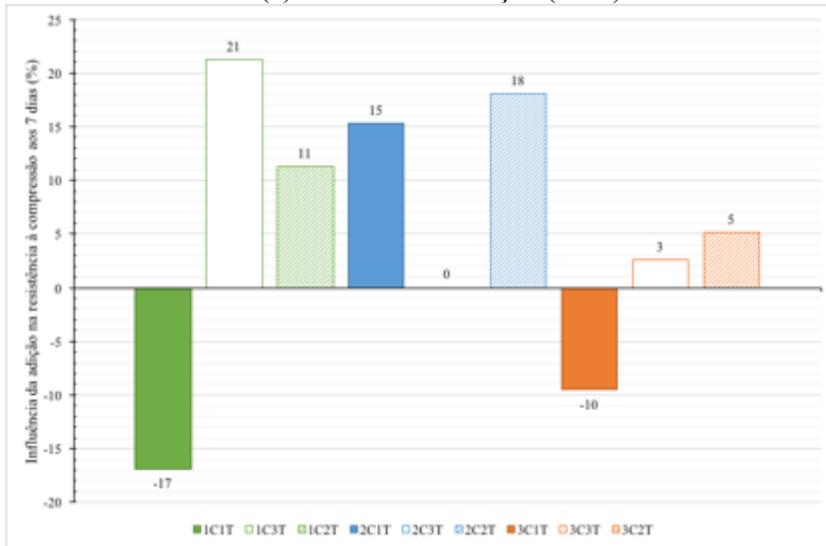
O comportamento da resistência à compressão aos 28 dias, Figura 59, apresentam as mesmas tendências e explicações dadas para as resistências aos 7 dias, sendo que a adição de SRA podem representar o maior ganho de resistência entre os 7 e os 28 dias.



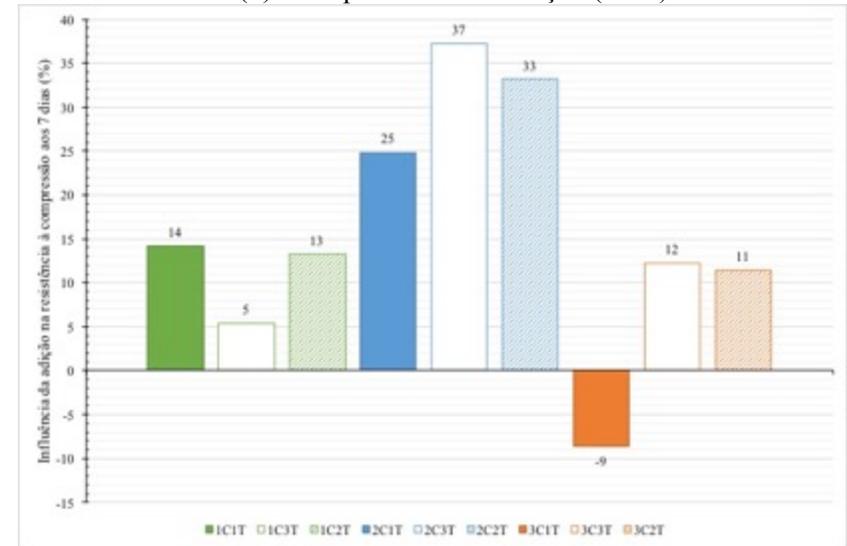
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).

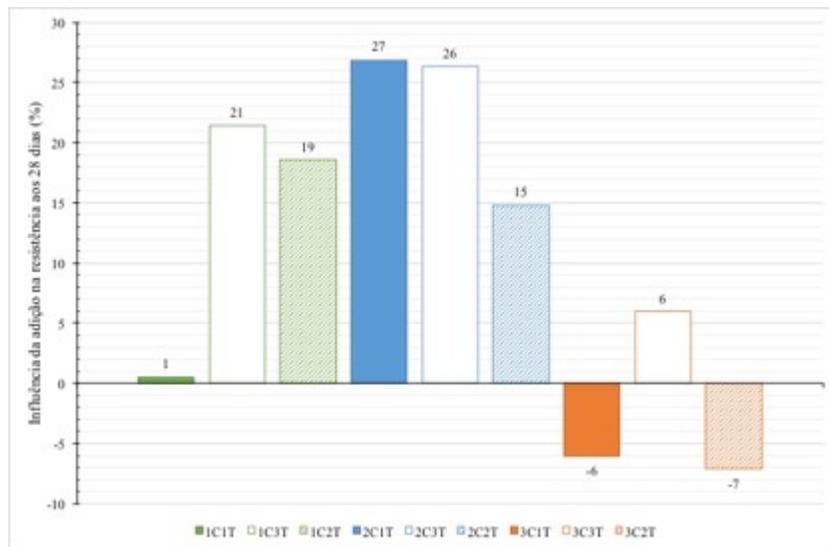


(c) Fibra polimérica (FP).

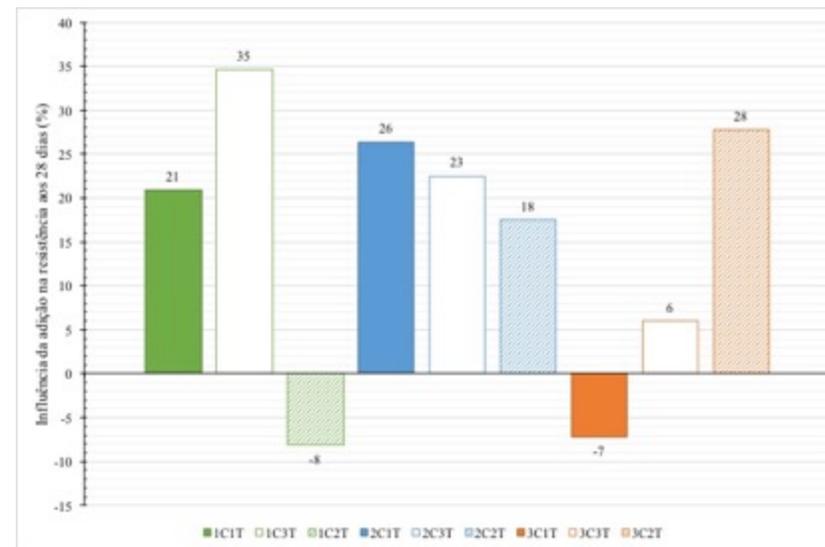


(d) Polímero superabsorvente (SAP).

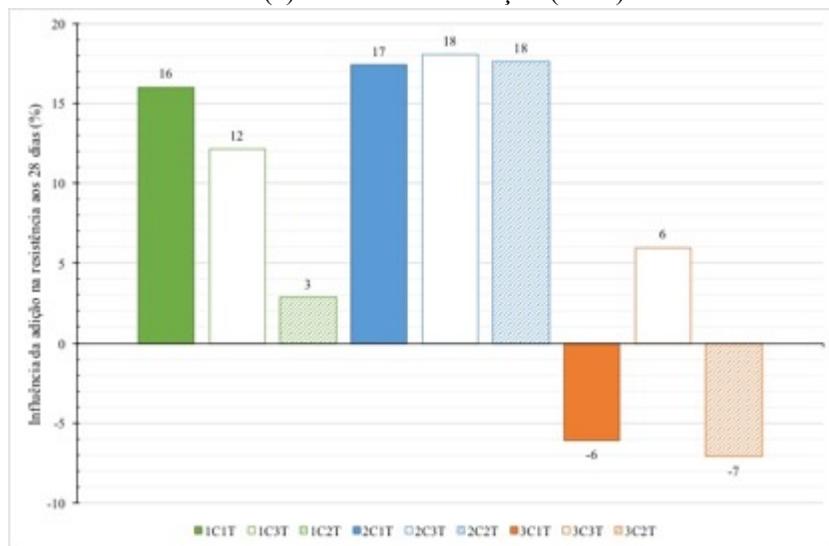
Figura 58: Influência das adições na resistência aos 7 dias.



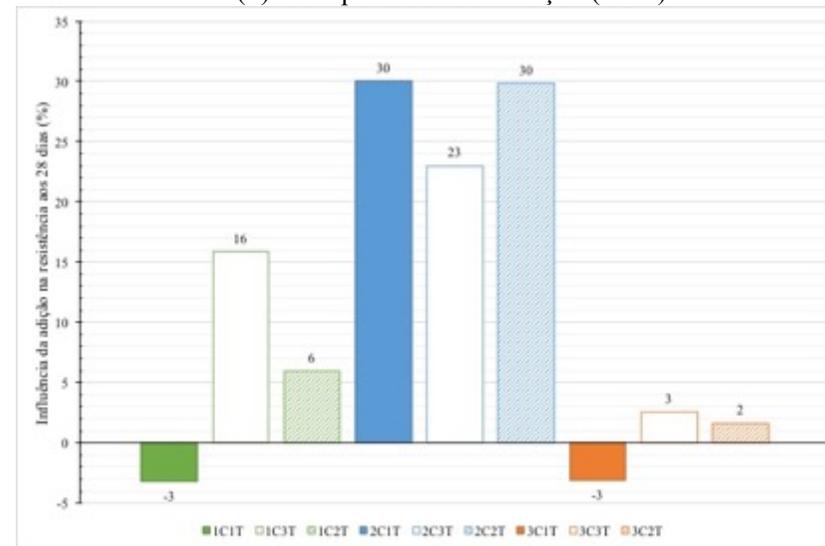
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SAP).

Figura 59: Influência das adições na resistência aos 28 dias.

4.4.2.2 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade de concretos autoadensáveis considerando o mesmo teor de argamassa são ligeiramente superiores aos concretos convencionais devido a compactação e homogeneidade das misturas (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2015), portanto espera-se que o módulo de elasticidade das misturas esteja em torno de 25-30 GPa, considerando os valores típicos de aplicação no cálculo de estruturas.

A Figura 60 apresenta os resultados de módulo de elasticidade para os 7 dias. As misturas confeccionadas com CP V ARI e diferentes tipos de adições apresentam módulo de elasticidade inferior ao módulo de elasticidade do controle para os 7 dias, enquanto que para os cimentos compostos as adições aumentam o módulo de elasticidade em relação ao controle.

A incorporação de SRA na mistura de CAA reduz o módulo de elasticidade em 9,0% em relação ao controle para o cimento CP V ARI, enquanto aumenta o módulo em 28,6% e 28,9% para o cimento CP II-Z e CP II-E, respectivamente. A influência do SRA no módulo de elasticidade pode estar relacionada a redução da tensão superficial da água, implicando em baixa força de tração dos compostos de cimento em idades iniciais (RODRIGUES, 2010). O teor ideal de aplicação do SRA em relação à influência no módulo é de 1,5%.

A utilização do CSA apresenta uma relação de quanto maior a adição ao CAA maior o módulo de elasticidade das misturas para a utilização junto aos cimentos compostos, CP II-Z e CP II-E, no entanto, para o CP V ARI quanto menor a adição maior o módulo de elasticidade. Por formar etringita durante a sua hidratação para compensar a retração a adição de CSA aumenta a densidade e deformabilidade da mistura, aumentando o módulo de elasticidade.

O emprego de FP afeta o módulo de elasticidade de modo inversamente proporcional, onde quanto maior o teor de adição menor o módulo de elasticidade, por se tratar de uma adição polimérica com baixo módulo de elasticidade, em torno de 1,6 GPa, a adição do material ao CAA tende a reduzir o seu módulo devido ao aumento do volume ocupado pela adição. No entanto, o uso de fibra polimérica não altera significativamente o módulo de elasticidade em relação ao módulo da mistura controle. Pode-se considerar como teor ideal de 0,05% em relação a massa de cimento.

A aplicabilidade do SAP no módulo de elasticidade é diretamente proporcional a sua adição onde quanto maior o teor de adição maior o módulo da mistura, esse aumento no módulo por ser explicado pela condição de ensaio do corpo de prova, por se tratar de um material

absorvente a umidade interna dos corpos de prova são maiores quanto maior for o teor de SAP adicionado.

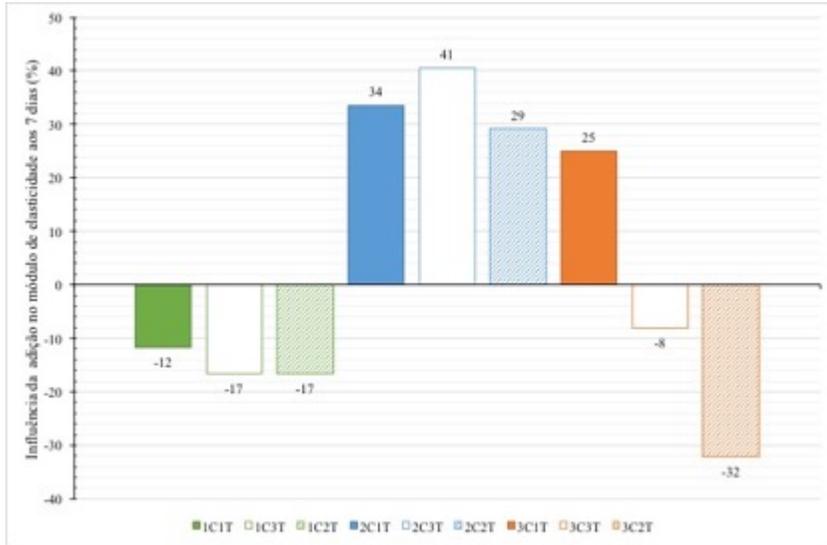
O módulo de elasticidade aos 28 dias, mostrado na Figura 61, resulta em uma menor influência do teor de adição ou tipo de cimento empregado para os resultados de 28 dias, do que apresentavam para os resultados aos 7 dias.

Para os 28 dias verifica-se uma baixa diferença entre os teores e os tipos de cimento para o emprego do SRA onde a média do módulo foi de 34 GPa resultando em um aumento considerável entre os 7 e 28 dias. O emprego do SRA altera em positivamente 14,6% o módulo de elasticidade em relação a misturas sem adição, podendo adotar como teor ideal 1,0% de adição à massa de cimento.

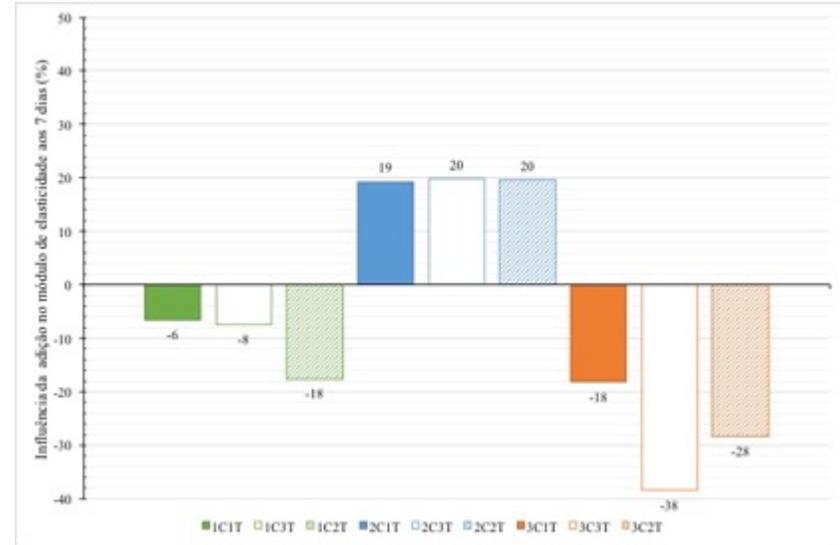
O emprego do CSA apresenta modulo inversamente proporcional ao teor de adição incorporado à mistura, assim como foi verificado aos 7 dias. A taxa de incremento média do módulo de elasticidade foi de 25,4%, entre os 7 e 28 dias. A adição de 3,0% à massa de cimento continua sendo o teor ideal de aplicação.

A adição de FP ao CAA, influência o módulo de elasticidade aos 28 dias da mesma forma que aos 7 dias, no entanto verifica-se que a utilização do teor de 0,10% apresenta os piores valores de módulo aos 28 dias, pois, praticamente não apresentaram ganho de módulo.

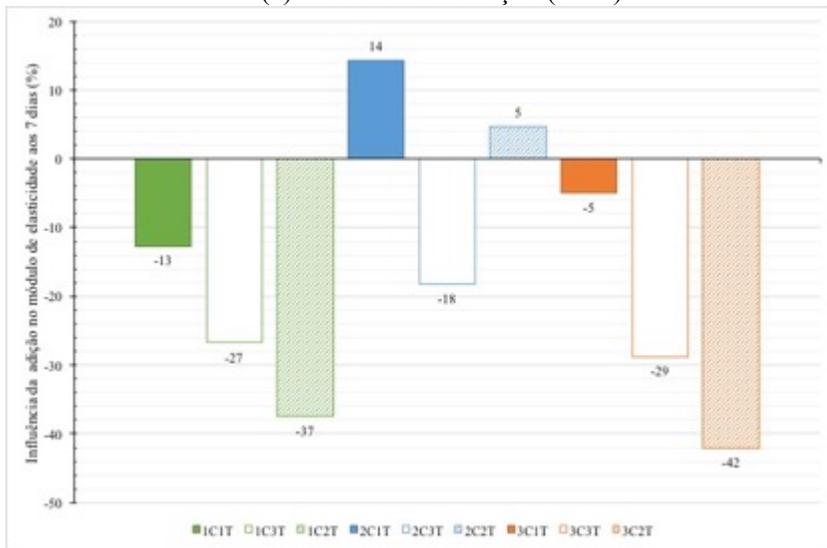
Quando da adição de SAP ao concreto verifica-se que o módulo de elasticidade aos 28 dias é superior em quase 10 GPa quando da incorporação de 0,15% de SAP em relação à massa de cimento, e em comparação à mistura de controle sem adição. Uma vez que para o cimento CP V ARI e CP II-Z não existe diferença significativa entre os valores de módulo de elasticidade em função do teor de SAP adicionado, no entanto existe um efeito negativo em relação a adição nos teores de 0,10 e 0,20% em relação à massa de cimento do CP II-E.



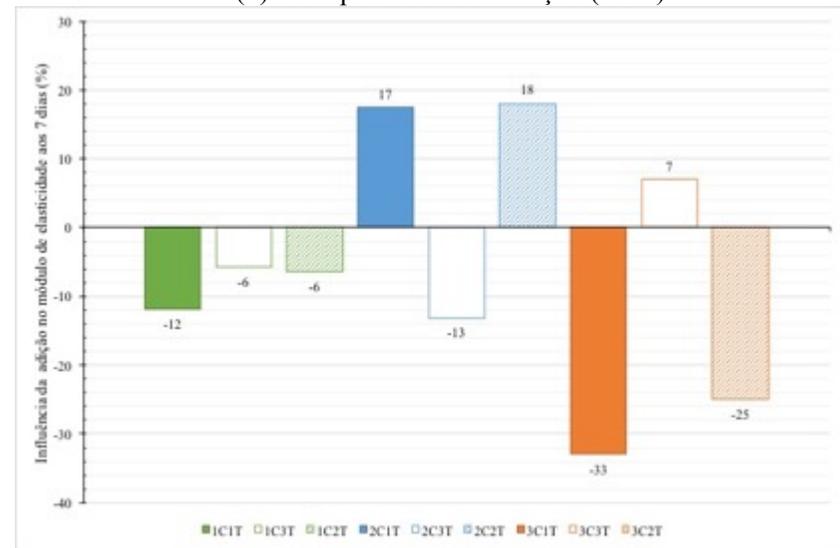
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).

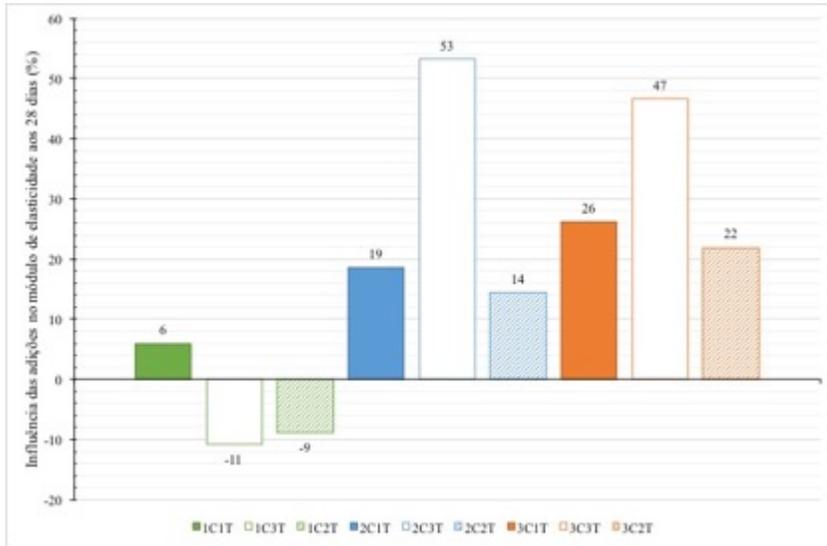


(c) Fibra polimérica (FP).

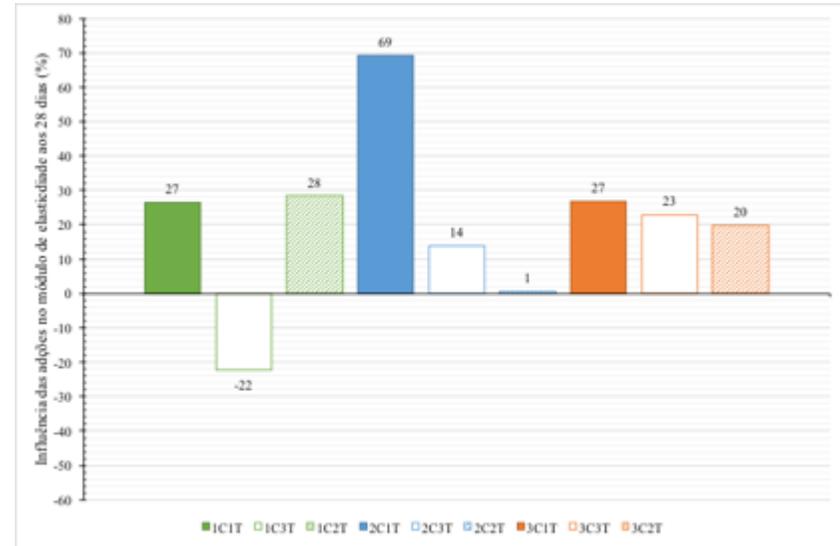


(d) Polímero superabsorvente (SAP).

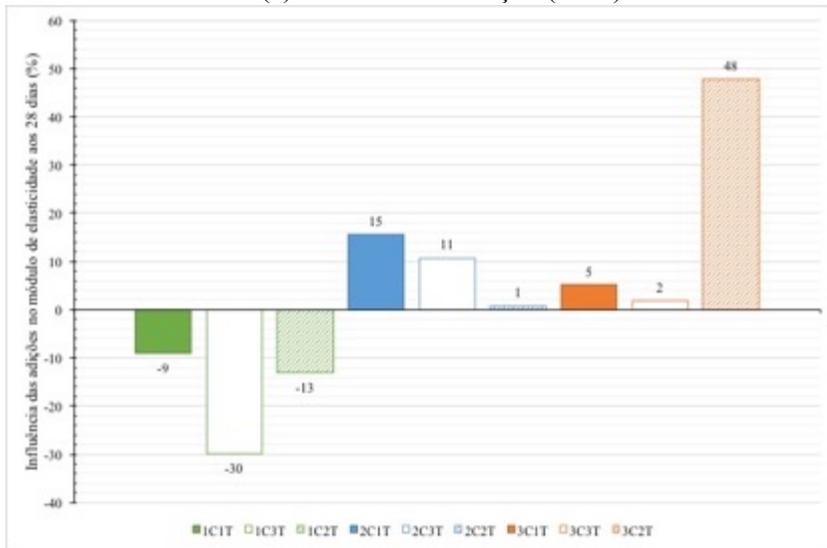
Figura 60: Influência das adições no módulo de elasticidade aos 7 dias.



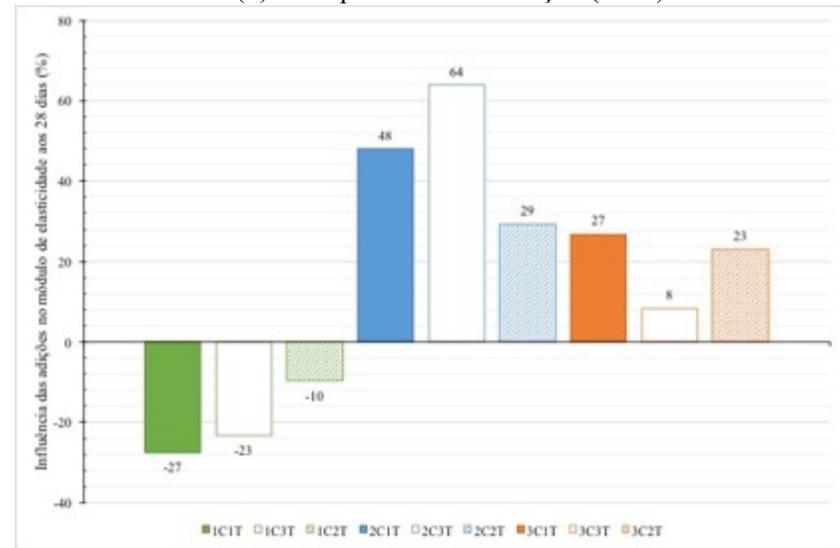
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SAP).

Figura 61: Influência das adições no módulo de elasticidade aos 28 dias.

4.5 RETRAÇÕES E PERDA DE MASSA

4.5.1 Retração Autógena

A retração autógena ou de auto dessecação ocorre devido a contração de Le Chatellier, ou química, e ocorre na ausência de troca hídrica com o meio ambiente, portanto os corpos de prova prismáticos foram embalados em três camadas de papel filme conforme Figura 62.



(a) Colocação do filme no molde.



(b) Armazenamento após concretagem.



(c) Leitura dos corpos de prova embalados e com fita adesiva nas extremidades.

Figura 62: Processo de confecção do corpo de prova para retração autógena.

Para a análise de variância dos resultados de retração autógena foram considerados apenas os resultados médios aos 28 dias. Todos os resultados de retração são dados no 0, da Tabela 64 à Tabela 102 e da Figura 99 à Figura 137.

As tabelas de ANOVA da retração autógena com nível de significância de 10%, são apresentadas no Apêndice D, a interação tripla entre as variáveis – cimento – adição – teor é dada na Tabela 139, a interação dupla é dada na Tabela 140 e a interação simples entre os fatores na Tabela 141. A ANOVA indica que existe influência significativa entre o tipo de cimento utilizado e os valores de retração assim como o tipo de adição empregada. A análise de variância foi calculada para 10% de significância e não para 5% como os demais ensaios devido ao fato de que o procedimento de ensaio influencia muito os resultados finais de leitura de retração.

A Figura 63 apresenta os resultados de retração autógena aos 28 dias, expressos pela média dos três corpos de prova para cada mistura, com o resultado final dado em porcentagem como preconiza a NM 131 (1997).

A retração autógena é mais acentuada para concretos de autodesempenho devido aos menores diâmetros dos poros, uma vez que, quando menor a dimensão dos poros capilares maior será a variação de volume autógena, segundo a lei de Kelvin-Laplace (PONS e TORRENTI, 2014). Dessa forma pode-se verificar que os cimentos mais finos, CP V ARI e CP II-E apresentaram retrações superiores ao cimento CP II-Z. Pode-se perceber também uma tendência no comportamento dos teores das adições conforme é alterado o cimento, e um comportamento distinto das adições em relação a interação com o cimento.

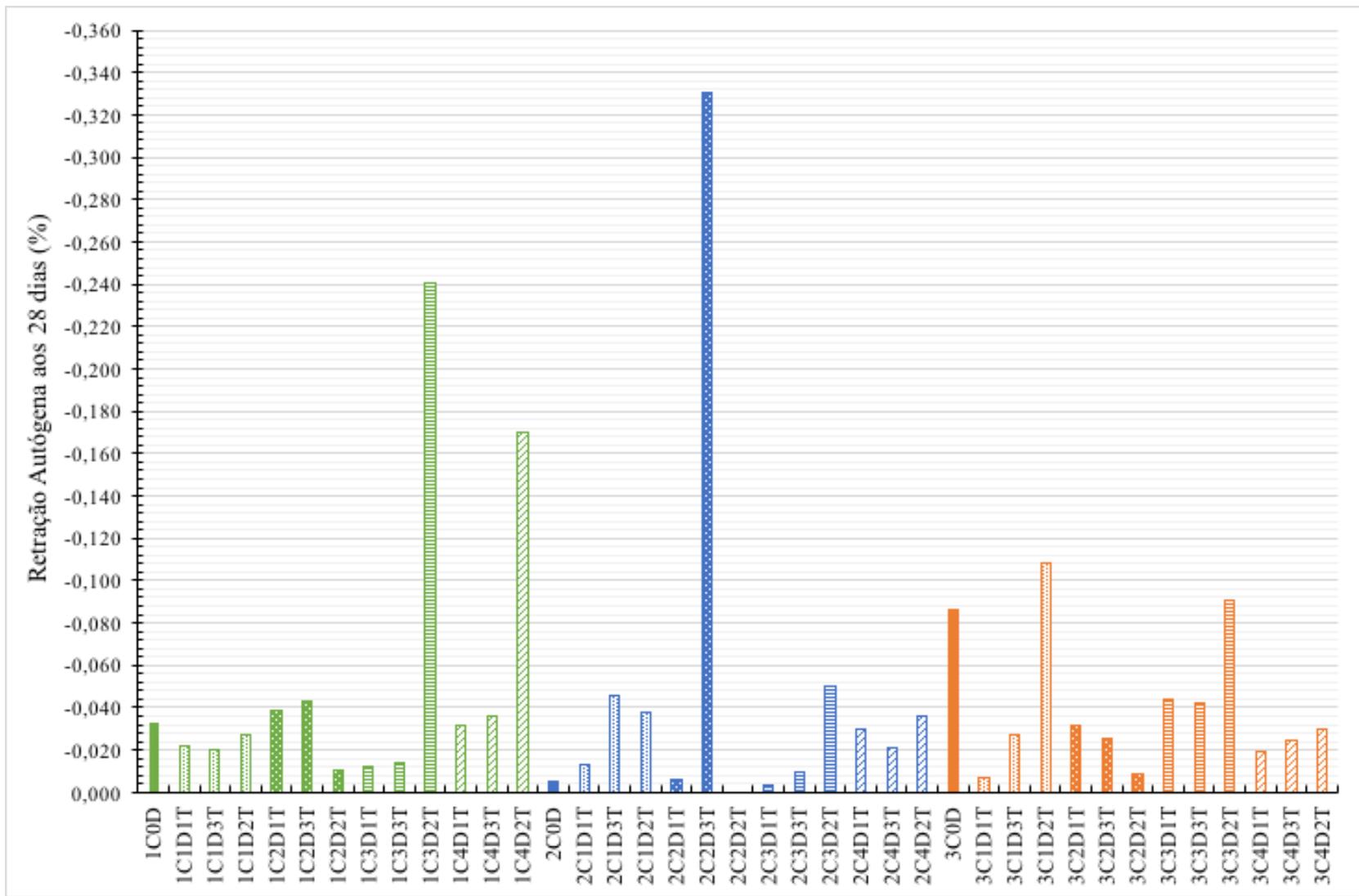


Figura 63: Resultados retração autôgena aos 28 dias.

4.5.1.1 Influência do Cimento

A Figura 64 mostra a retração autógena para os diferentes tipos de cimento, onde a menor retração foi encontrada para o CP II-Z com retração de -0,005% em relação à leitura de referência de 24 horas. Considerando o CP II-Z como referência tem-se um acréscimo de 560% e de 1.620% para os cimentos CP V ARI e CP II-E, respectivamente. Essa diferença de retração pode ser explicada pela finura do cimento, uma vez que a finura do cimento pode influenciar na porosidade final da mistura. Assim como os poros formados pela hidratação da escória gera C-S-H de melhor qualidade, ou seja, menos poros, tem-se uma retração maior para o CP II-E em detrimento do CP V ARI, ambos com blaine de 4282 e 4242 g/cm² respectivamente.

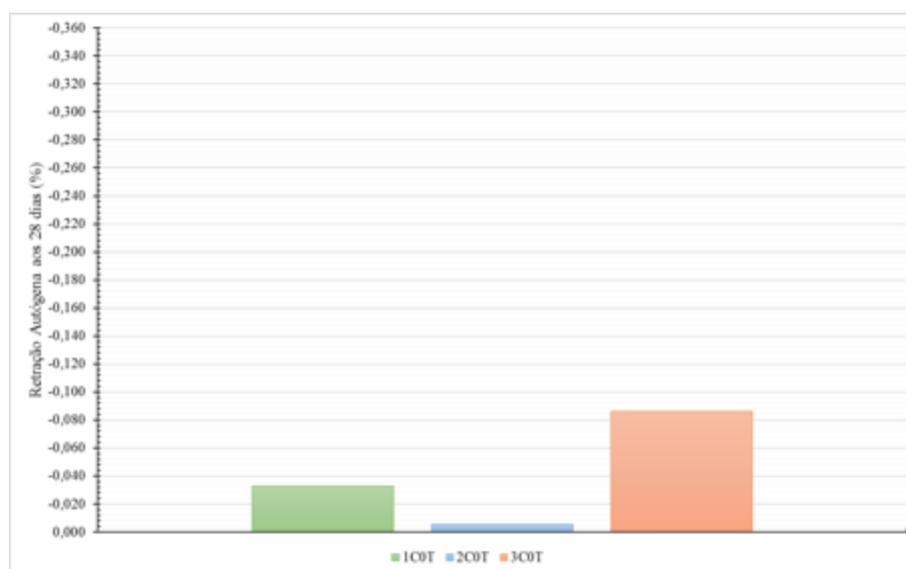


Figura 64: Retração autógena aos 28 dias para os diferentes cimentos.

A Figura 65 apresenta a retração autógena para os concretos confeccionados com CP V ARI, onde verifica-se uma retração autógena inferior a -0,04% para a maioria das misturas. Já a Figura 66 apresenta o comportamento da retração ao longo dos 28 dias de ensaio para os concretos com CP II-Z, sendo que a maioria das misturas apresentam retrações inferiores a -0,03%.

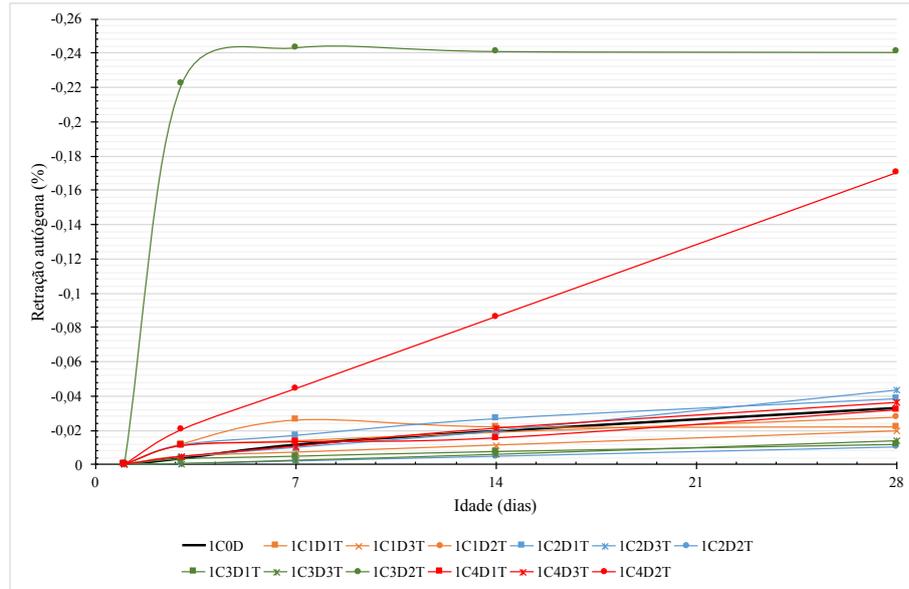


Figura 65: Evolução da retração autóloga para o cimento CPV ARI.

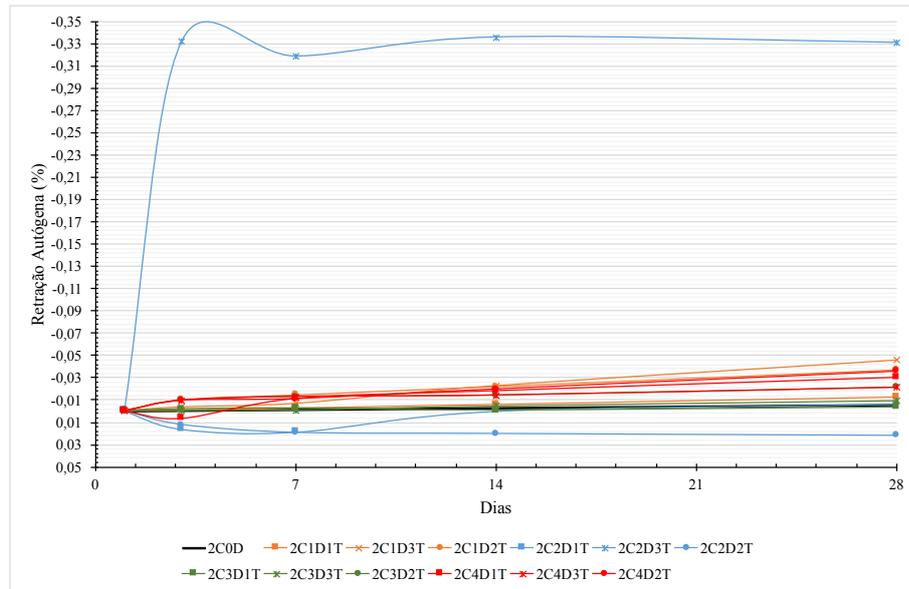


Figura 66: Evolução da retração autóloga para o cimento CP II-Z.

A Figura 67 mostra a evolução da retração para as misturas com o cimento CP II-E, com maioria dos valores de retração abaixo de $-0,05\%$. Analisa-se que o comportamento ao longo do tempo para CP VARI e para o CP II-Z são similares enquanto que a taxa de evolução da retração, onde a retração acontece de forma linear com o passar do tempo enquanto que para o CP II-E existe uma evolução significativa da retração até os 14 dias.

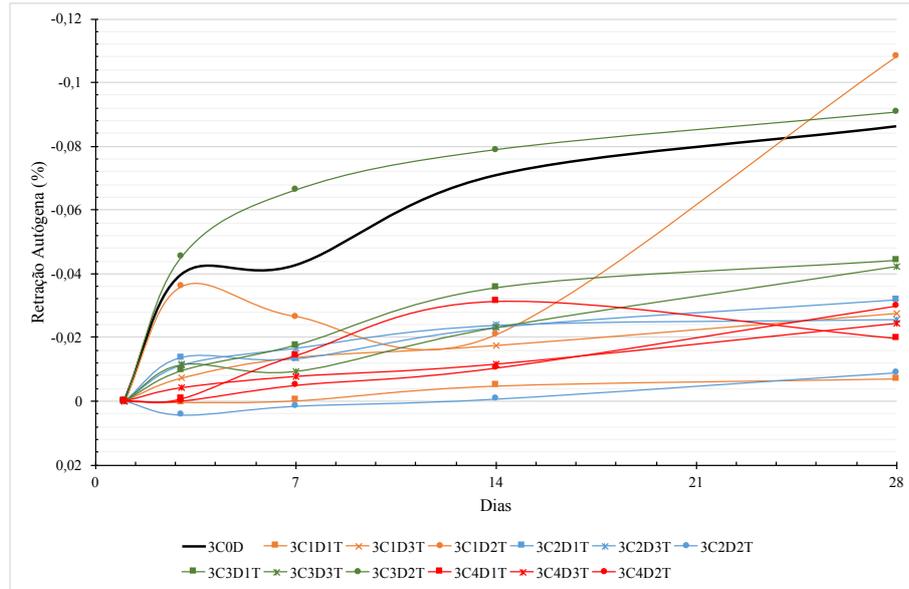


Figura 67: Evolução da retração autóloga para o cimento CP II-E.

4.5.1.2 Influência das Adições

A Figura 68 apresenta a evolução dos concretos com adição de aditivo redutor de retração (SRA) ao longo dos 28 dias, verifica-se que excluindo-se a mistura de 2,0% ao cimento CP II-E as demais misturas apresentam comportamento similar ao longo do tempo, sendo possível verificar que mesmo não tendo sido encontrado diferença significativa, pela ANOVA, entre os teores empregados existe um comportamento distinto entre os teores, onde menores teores resultam em menores retrações.

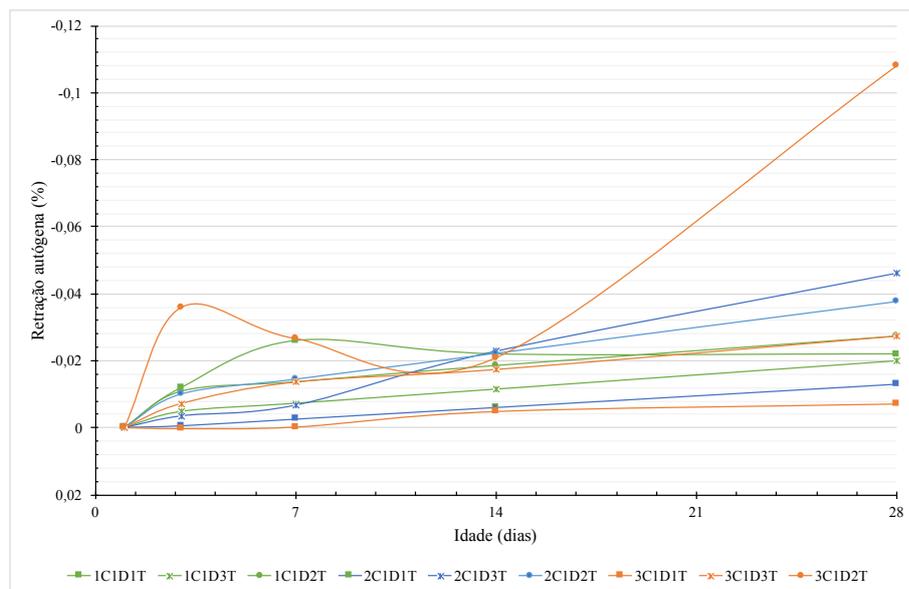


Figura 68: Evolução da retração autóloga para o redutor de retração (SRA).

A Figura 69 apresenta o comportamento ao longo do tempo para os concretos com adição de compensador de retração (CSA), o comportamento da maioria das misturas, exceto com 5% de adição ao CP II-E, é de conduzir expansões inferiores a $-0,02\%$ sendo que em alguns casos como a adição de 3% e 7% ao cimento CP II-Z existe a expansão dos concretos em relação as idades iniciais.

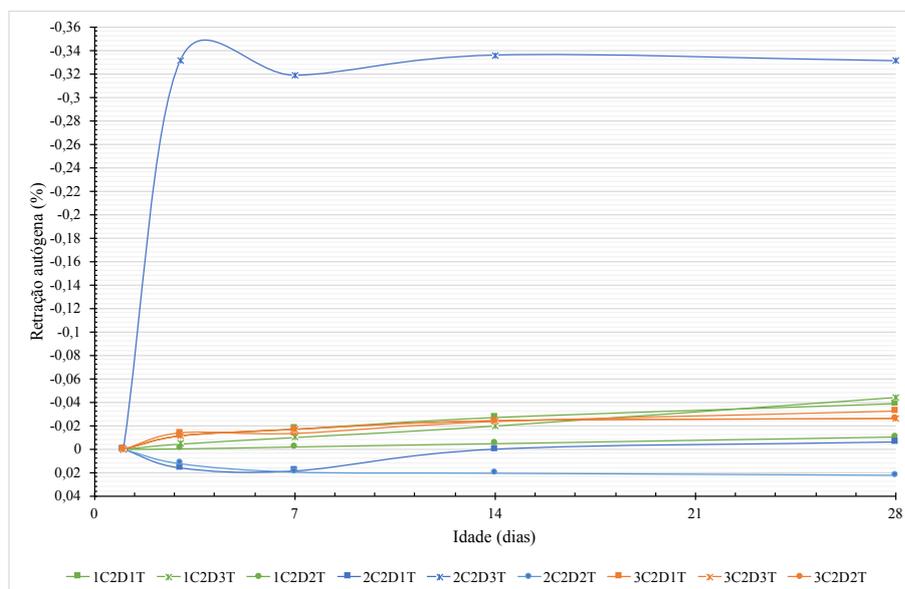


Figura 69: Evolução da retração autóloga para o compensador de retração (CSA).

A Figura 70 apresenta a retração para as misturas com adição de fibra de polipropileno (FP), o comportamento das misturas é distinto das adições de SRA e de CSA, enquanto as adições controladoras da retração apresentam comportamentos lineares, as misturas com FP apresentam crescimento acentuado até os 14 dias, sendo que após esse período existe a tendência de estabilização da retração, resultando em expansões inferiores à $-0,04\%$.

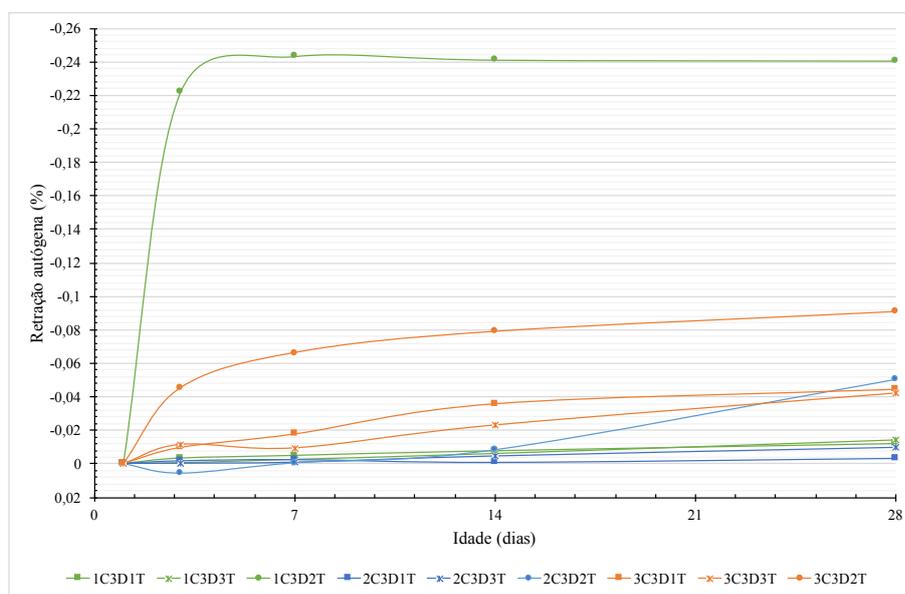


Figura 70: Evolução da retração autóloga para a fibra polimérica (FP).

A Figura 71 apresenta a retração dos concretos com polímero superabsorvente (SAP), as retrações dos concretos aos 28 dias são inferiores à -0,04%, no entanto a utilização do SAP não apresenta comportamento de estabilização das retrações após os 14 dias como acontece com as demais adições, sendo que a retração aos 28 dias são mais do que o dobro das reações encontradas aos 14 dias.

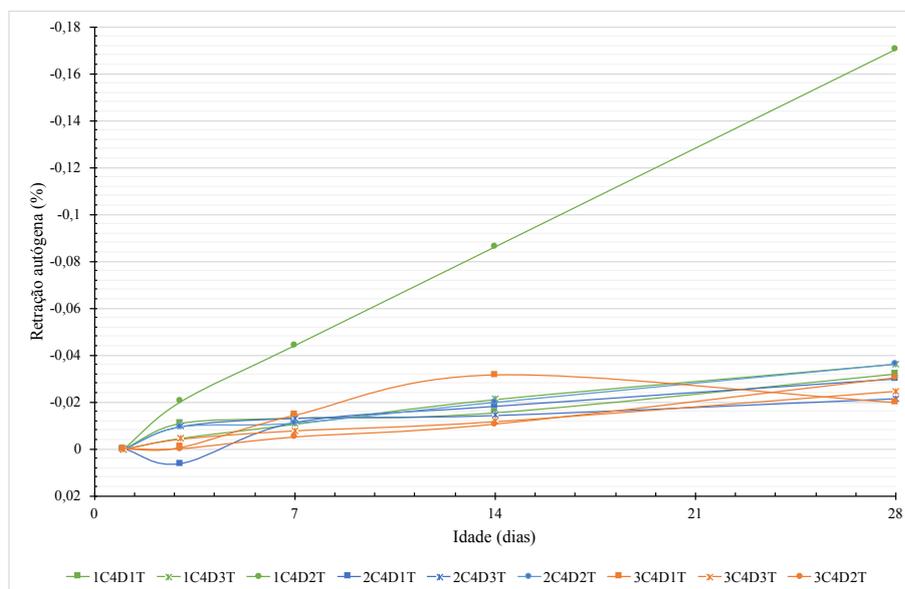


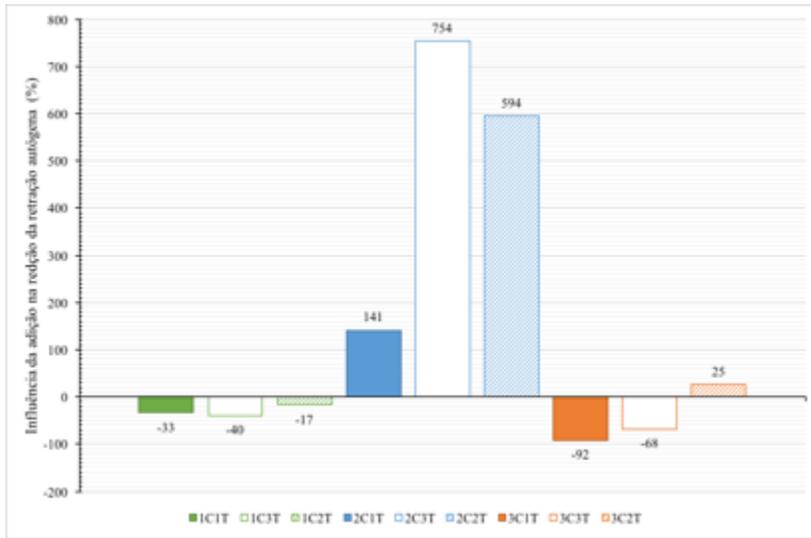
Figura 71: Evolução da retração autóloga para o polímero superabsorvente (SAP).

A Figura 75 mostra o efeito das adições na retração autóloga final aos 28 dias, onde foi calculada a influência de mitigação ou acréscimo da retração em função da retração de controle para cada tipo de cimento, onde valores positivos indicam que a adição não foi suficiente para reduzir a retração em relação ao controle e valores negativos indicam a porcentagem mitigada em relação ao controle.

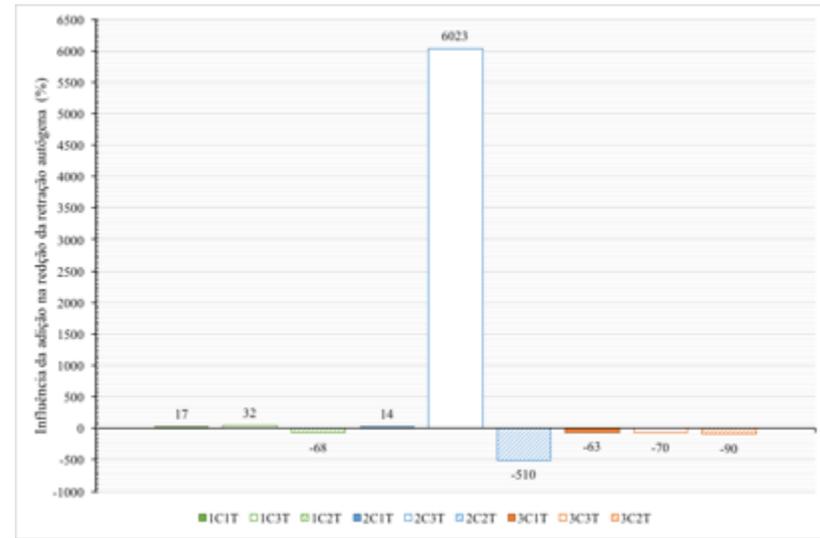
O emprego do SRA foi eficiente para os cimentos CP V ARI e CP II-E, uma vez que os teores estudados, 1,0% - 1,5% e 2,0%, geraram retrações superiores ao controle para o CP II-Z, por gerar redução da tensão superficial da água nos poros do concreto e interferir nas reações de hidratação esse tipo de adição pode influenciar na hidratação do cimento composto de pozolana devido ao fato da reação desse tipo de cimento ocorrer em duas fases, 1ª hidratação do clínquer e 2ª reação da pozolana com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) sendo que as tensões geradas não são suficientes para mitigar a retração nas duas fases, podendo inclusive reduzir os poros da mistura causando maior retração autóloga. As demais misturas com CP V ARI e CP II-E confirmam as informações da literatura onde a redução autóloga pode ser de até 50% com o emprego desse tipo de adição (MELO NETO, 2008). Pode-se indicar o teor de 1,0% como sendo ideal para reduzir a retração autóloga, uma vez que quanto maior o teor adicionado menor o potencial da mitigação.

O emprego do cimento compensador de retração (CSA) indica que quanto maior o teor adicionado a mistura maior o seu efeito de mitigação, sendo que para o teor de 7% de adição ao CP II-Z foi possível verificar a expansão da argamassa em relação à mistura de controle. A combinação do CSA com os tipos de cimento foi mais eficiente para o CP II-E. O cimento compensador de retração utilizado é do tipo-S e, portanto, rico em aluminato tricálcico (C_3A) com a formação de etringita nas primeiras idades, a composição da escoria de alto forno pode acelerar esse processo (MELO NETO, 2008). O teor indicado de utilização do CSA é 7% para o traço estudado, comprovando o teor indicado pelo fabricante.

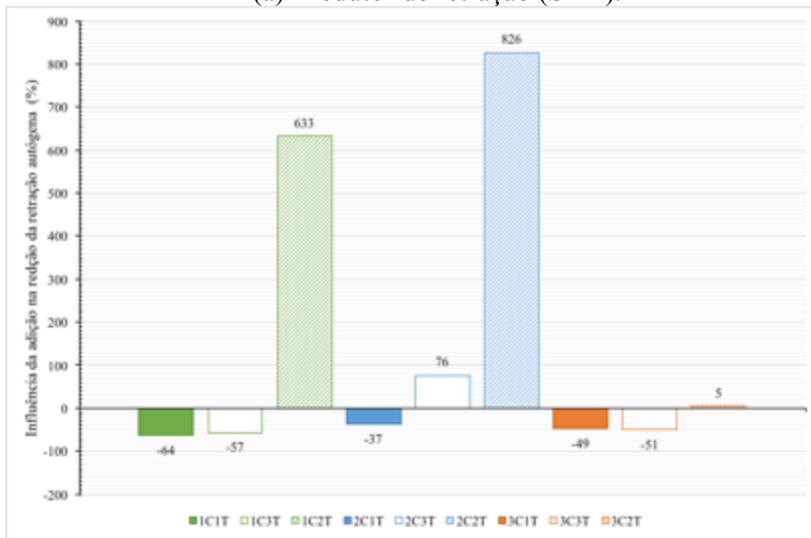
O efeito da fibra polimérica ao CAA é inversamente proporcional ao teor empregado, onde quanto maior o teor, menor a capacidade de mitigar a reação. Por se tratar de uma ação física à mistura pode-se concluir que quanto maior o teor da adição menor os poros capilares da mistura e conseqüentemente maior será a variação volumétrica (PONS e TORRENTI, 2014). O teor ótimo recomendado para incorporação da FP ao CAA é de 0,05% em relação a massa de cimento, ou seja, 220 g/m³ de concreto, o que contradiz algumas pesquisas (SENISSE, 2010) de que incorporações inferiores à 300 g/m³ não são suficientes para mitigar a retração.



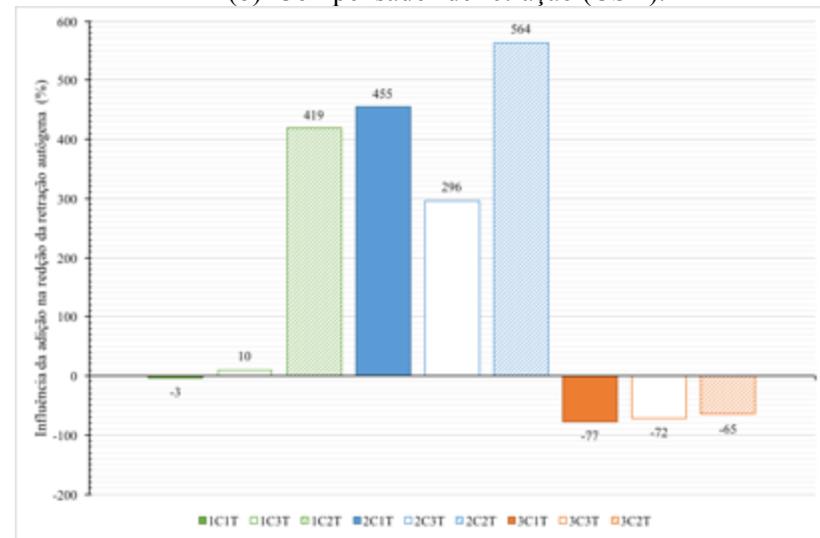
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SAP).

Figura 72: Influência das adições na retração autóloga aos 28 dias.

O emprego do SAP mostrou-se favorável apenas quando combinado com o cimento CP II-E, não sendo capaz de mitigar a retração para o CP II-Z e reduziu a retração apenas com 0,10% de adição a massa de cimento para a combinação com CP V ARI. A utilização do SAP é considerada como um processo de cura interna devido a sua capacidade de absorver água e só perder a água absorvida quando a umidade relativa do ambiente em que o mesmo está inserido seja inferior a umidade interna. Dessa forma o SAP funciona como um filtro onde a água é perdida primeiramente do SAP para depois ocorrer a perda da água presente nos poros onde dessa forma o SAP mantém o concreto úmido internamente uma vez que a água perdida é a absorvida pelo polímero e não pelo concreto (HASHOLT *et al.*, 2012; KHAIRALLAH, 200).

4.5.2 Retração Hidráulica

A retração hidráulica ou por secagem ocorre devido a diferença higrometria entre o núcleo do concreto e o ambiente externo, onde a variação do gradiente hidráulico tende a criar deformações de retração, para tanto foram realizados ensaios de variação volumétrica em prismas de concreto conforme NM 131 (1997), conforme Figura 73.



(a) Molde com pino comparador



(b) Leitura dos corpos de prova

Figura 73: Processo de confecção do corpo de prova para retração hidráulica.

Para análise de variância dos resultados de retração hidráulica foram considerados apenas os resultados médios aos 28 dias. Todos os resultados de retração são apresentados no 0, da Tabela 64 à Tabela 102 e da Figura 99 à Figura 137.

As tabelas de análise de variância da retração hidráulica com nível de significância de 10%, são apresentadas no Apêndice D, a interação tripla entre as variáveis é calculada na Tabela

139, na Tabela 140 é apresentado o resultado para interação dupla e na Tabela 141 o resultado da interação simples. A ANOVA indica que existe influência significativa entre o tipo de cimento utilizado e os valores de retração assim como a interação entre o tipo de adição e o tipo de cimento empregado. A análise de variância assim como que para a retração autógena foi calculada para um nível de significância de 10% devido a variação dos resultados durante a execução do ensaio.

A Figura 74 apresenta os resultados de retração hidráulica aos 28 dias, expressos pela média dos três corpos de prova para cada concreto, com o resultado final dado em porcentagem em relação a leitura inicial com 24 horas de idade como preconiza a NM 131 (1997).

A retração por secagem ou hidráulica estão diretamente associadas à água contida nos poros com faixa de 6 a 50 nm de diâmetro, sendo que o refinamento dos poros resulta em maiores retrações por secagem (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Dessa forma pode-se verificar que o cimento com adições de escória apresenta a uma retração próxima ao CP V ARI devido ao refinamento dos poros e a finura do cimento, enquanto que o cimento com adição pozolânica apresenta a menor retração, enquanto que era esperado o efeito contrário, maior retração devido ao refino dos poros causados pela reação pozolânica. Analisa-se também que o teor das adições sofre influência do tipo de cimento empregado, apresentando efeitos contrários entre o cimento de alta resistência inicial e os cimentos compostos.

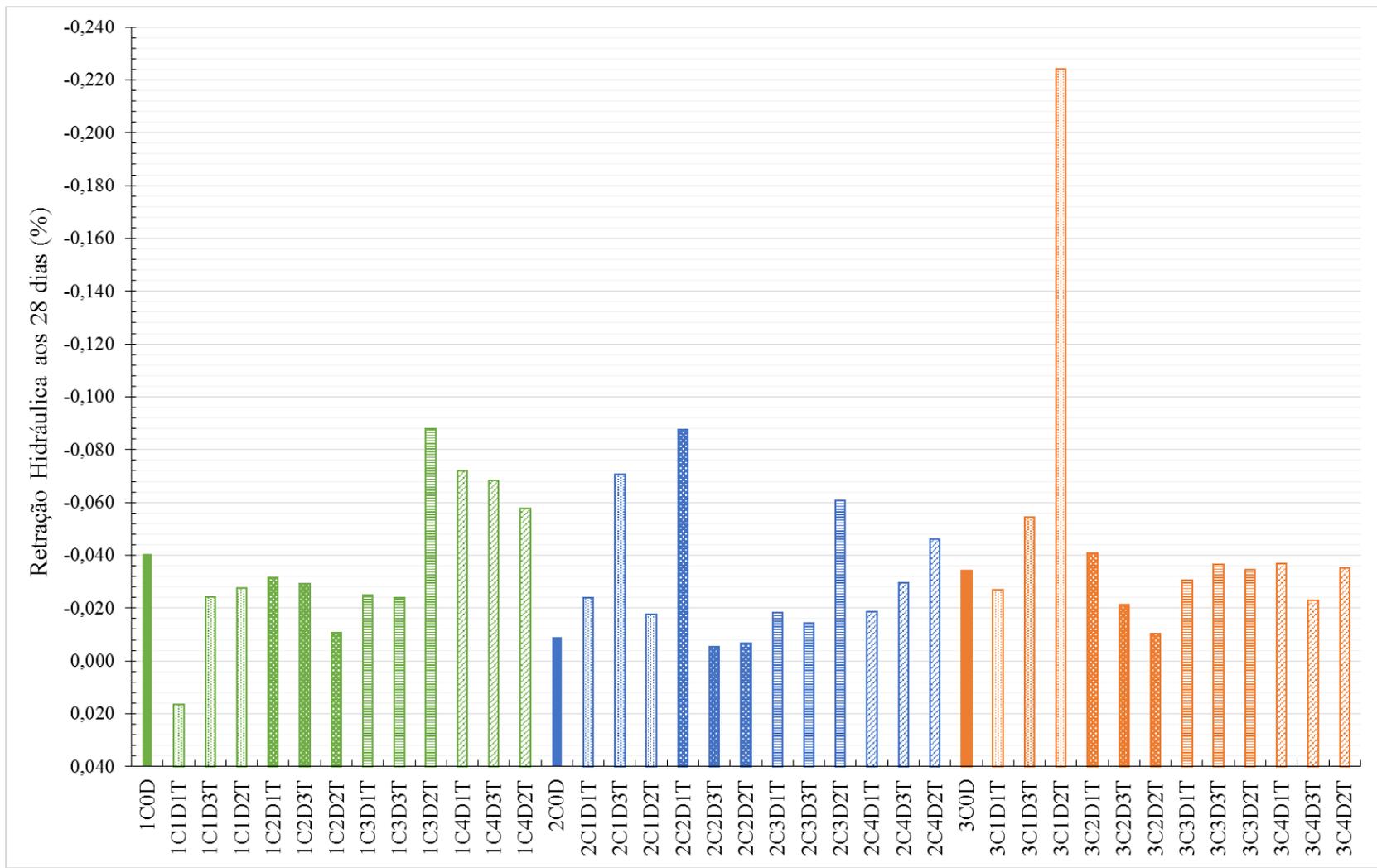


Figura 74: Resultados hidráulica aos 28 dias.

4.5.2.1 Influência do Cimento

A Figura 75 mostra a retração hidráulica para os diferentes tipos de cimento, onde a menor retração foi encontrada para o CP II-Z com retração de -0,009% em relação a leitura de referência de 24 horas. Considerando o CP II-Z como referência tem-se um acréscimo de 355% e de 277% quando da utilização do CP V ARI e CP II-E, respectivamente.

Estudos mostram que utilizações de cimentos compostos onde a adição com modulo de finura elevados aumentam a retração enquanto adições com finura superiores ao cimento padrão reduzem a retração (MORS, 2011), uma vez que a retração hidráulica é a perda de água dos poros, normalmente próximos a superfície, para a atmosfera, portanto quanto menor os poros, maior a variação capilar e capacidade de perda de água (FERRAZ, 2009).

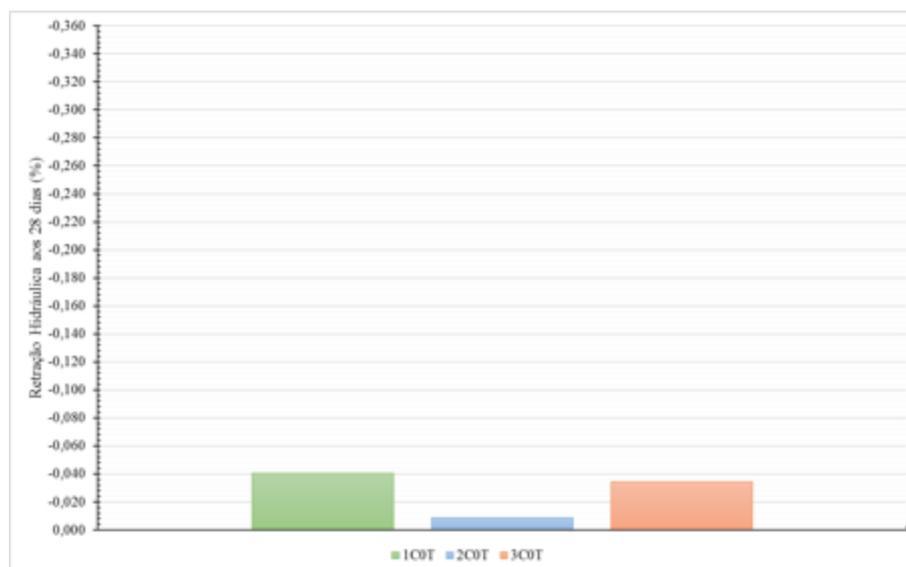


Figura 75: Retração hidráulica aos 28 dias para os diferentes cimentos.

A Figura 76 apresenta a retração hidráulica para os concretos confeccionados com CP V ARI, onde verifica-se a uma grande variação dos resultados em função do tipo de adição utilizada, onde existe a tendência do crescimento da retração para as misturas com adição de SAP enquanto que para as demais as retrações tendem a sobre estabilização dos 21 aos 28 dias para as demais misturas. Pode-se considerar a leitura aos 14 dias para a mistura de 0,05% de FP como um ponto de erro de realização do ensaio.

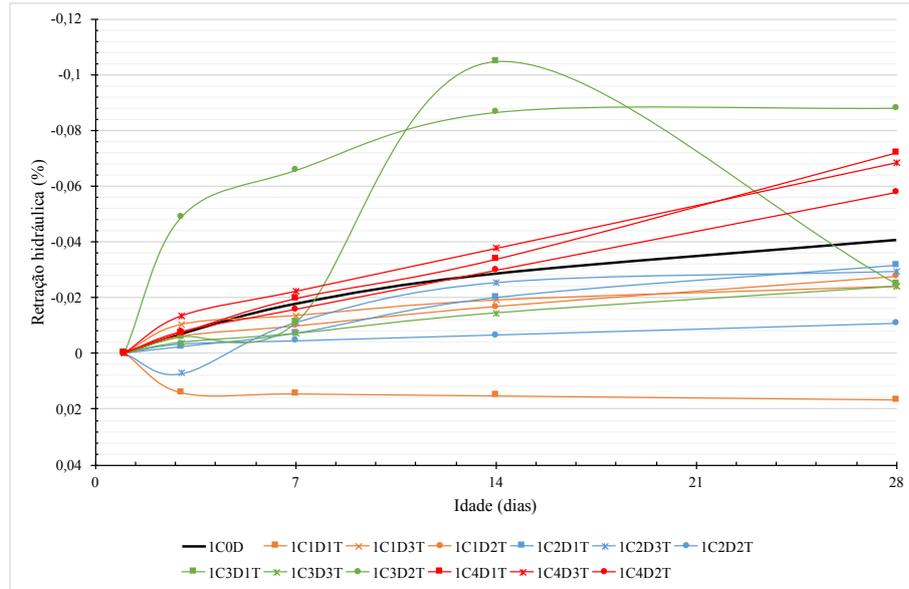


Figura 76: Evolução da retração hidráulica para o cimento CP V ARI.

A Figura 77 mostra a evolução das misturas de CP II-Z ao longo do tempo, verifica-se a variabilidade dos resultados conforme o tipo de adição e teor empregado de adição. As retrações ficaram entre -0,01% e -0,09%. Pode-se observar que as misturas com adição expansiva (CSA) apresentam comportamento expansivo até a idade de 14 dias, sendo que após esse período volta a sofrer retração, os teores elevados de polímero superabsorvente e de fibra polimérica aumentam a retração das misturas, enquanto os demais teores e misturas tendem a manter a retração constante após os 21 dias.

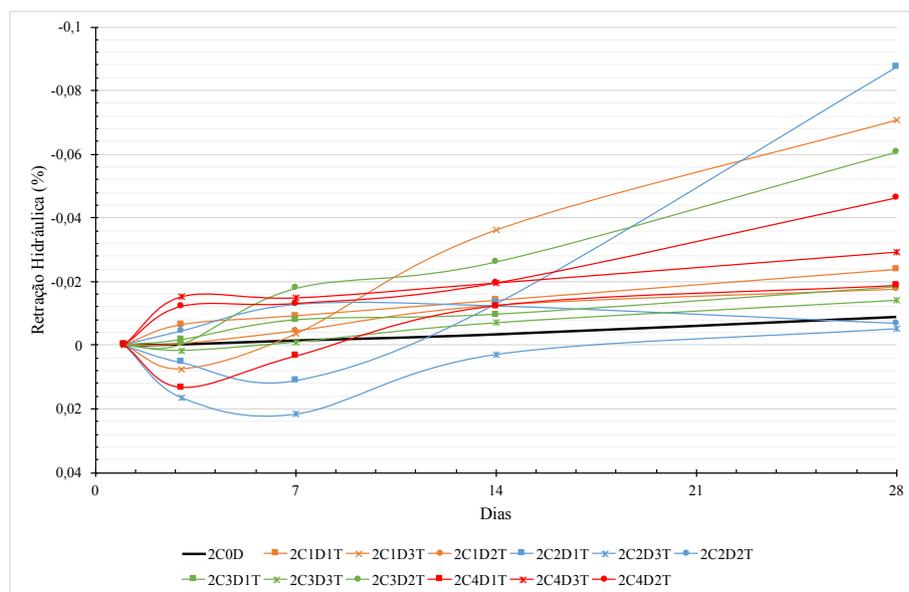


Figura 77: Evolução da retração hidráulica para o cimento CP II-Z.

A evolução da retração hidráulica para as misturas com CP II-E são mostradas na Figura 78. Verifica-se o comportamento linear das misturas após os 3 dias, sendo que mais misturas apresentam retração entre -0,02% e -0,22, onde a adição de 2,0% de SRA gerou uma

retração muito superior as demais, podendo ser considerada como não esperada ou anormal em relação as demais.

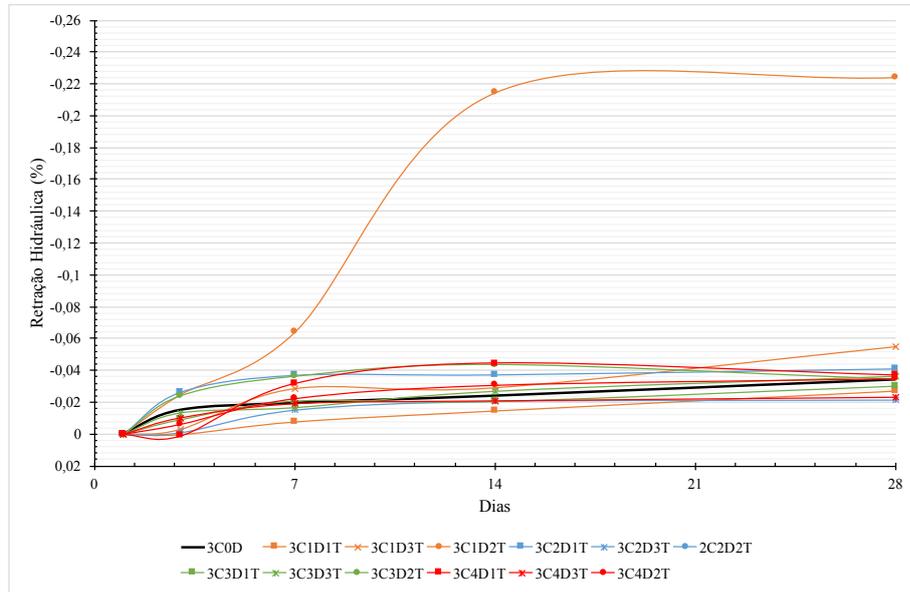


Figura 78: Evolução da retração hidráulica para o cimento CP II-E.

4.5.2.2 Influência das Adições

A Figura 79 exibe a evolução da retração hidráulica para os concretos com SRA ao longo dos 28 dias de ensaio. Verifica-se que a adição de 2,0% ao cimento CP II-E apresenta retrações superiores as demais adições, e verifica-se que as menores expansões são resultantes da adição do teor de 1,0%.

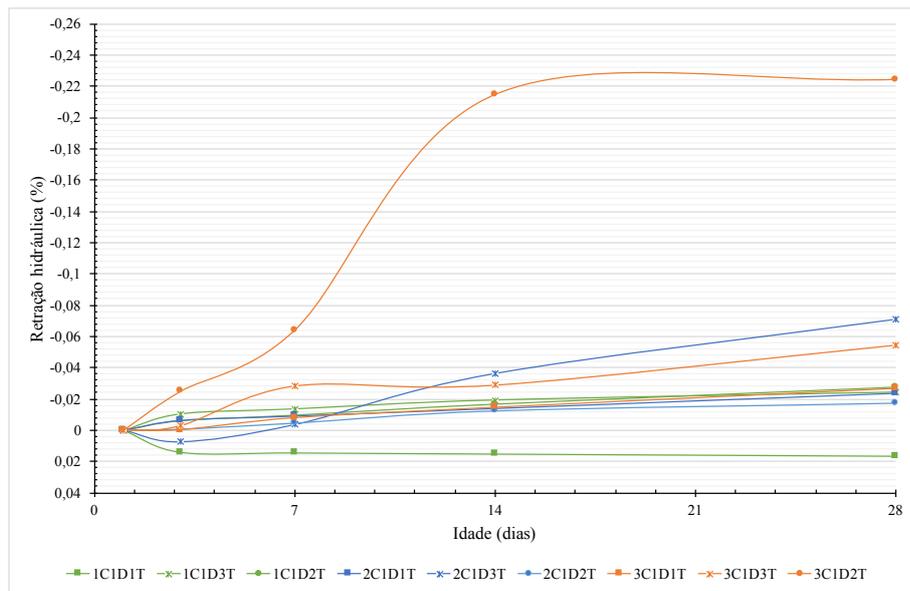


Figura 79: Evolução da retração hidráulica para redutor de retração (SRA).

Figura 81: Evolução da retração hidráulica para fibra polimérica (FP).

A Figura 82 apresenta a evolução da adição do polímero superabsorvente ao CAA, o comportamento dos concretos é de apresentar retrações crescente para praticamente todas as misturas, sendo que somente o cimento CP II-E tem retrações estabilizadas após 14 dias.

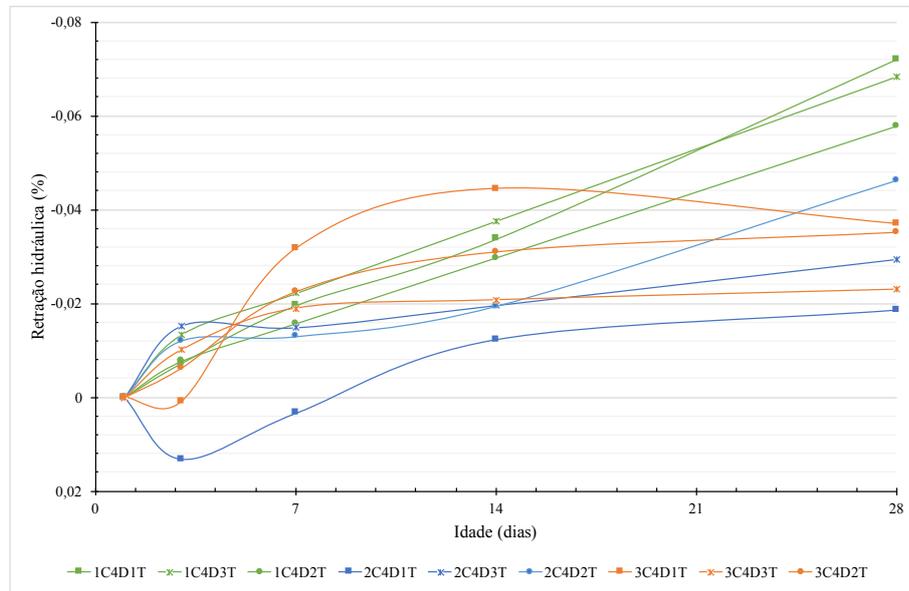
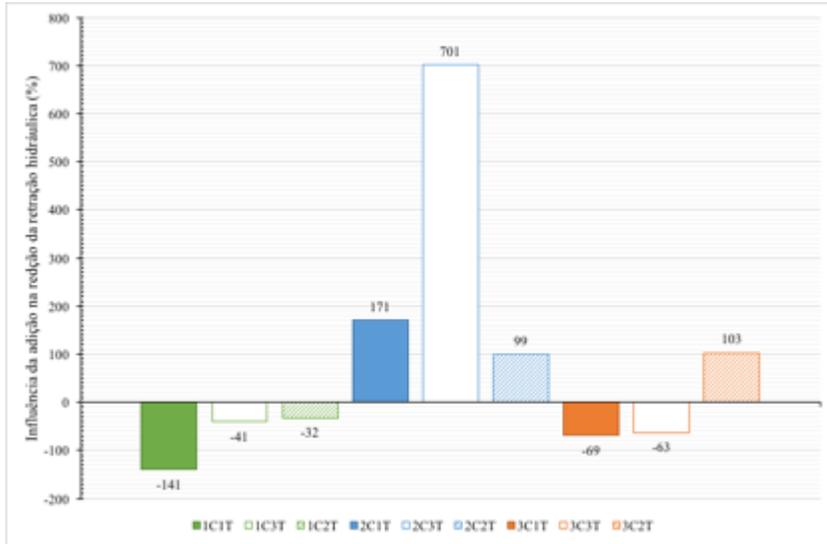
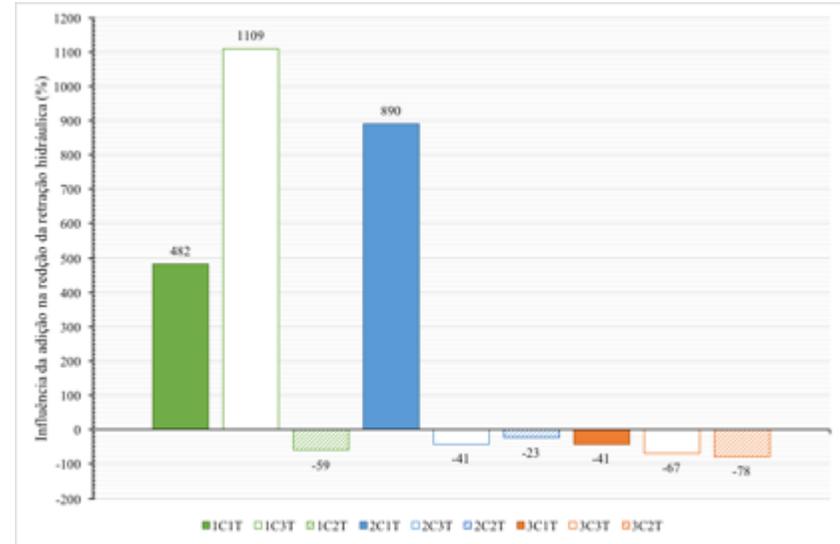


Figura 82: Evolução da retração hidráulica para o polímero superabsorvente (SAP).

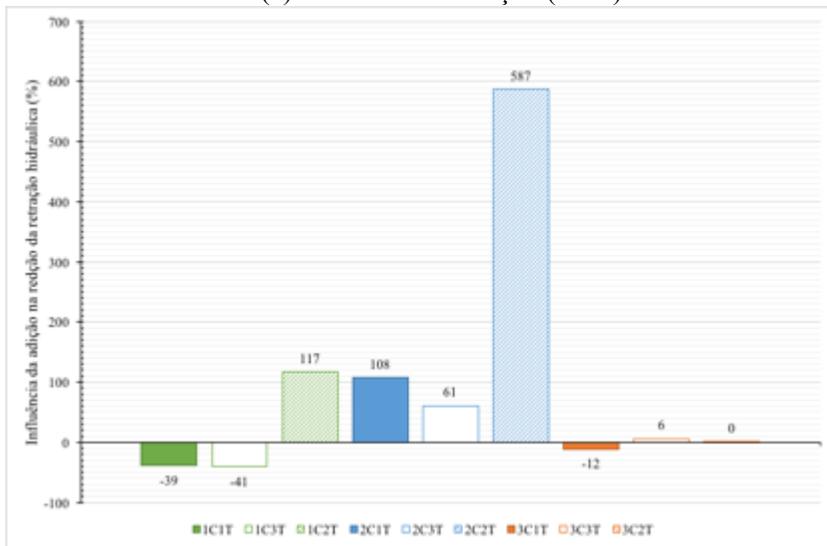
A Figura 83 demonstra o efeito das adições na retração hidráulica final aos 28 dias, onde a influência é calculada em função da mistura de controle, sem adição, para cada tipo de cimento, onde valores positivos indicam que a adição não mitigou a retração em relação ao controle e valores negativos indicam o percentual da mitigação.



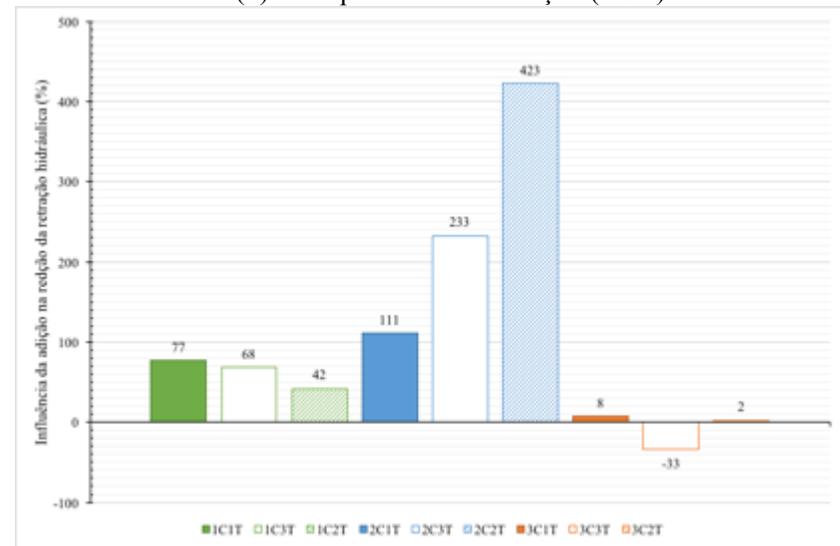
(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SPA).

Figura 83: Retração hidráulica aos 28 dias para as diferentes adições.

O emprego do SRA foi eficiente para os cimentos CP V ARI e CP II-E sendo que com o aumento do teor adicionado a esses concretos menor é o efeito de mitigação do SRA. Já para o CP II-Z ocorre uma situação inversa onde quanto maior o teor emprego maior a redução da retração, no entanto os teores estudados nesse trabalho não foram o suficiente para mitigar a reação ao concreto de controle com cimento CP II-Z. Assim como na retração autógena é indicado a aplicação de 1,0% de SRA ao concreto autoadensável para reduzir a retração hidráulica em torno de 60% para o cimento com adição de escória e superiores à 30% para o cimento de alta resistência inicial. O efeito do uso de SRA na mistura com cimentos finos gera o refino dos macroporos do concreto, aumentando assim a tensão superficial e interferindo negativamente na retração dos concretos (MELO NETO, 2008).

Quando se utiliza o aditivo compensador de retração com grande quantidade de C_3A , caso do CSA, verifica-se a tendência de que quanto maior a adição ao concreto maior é a mitigação da retração hidráulica. Sendo que os teores de 3,0% e 5% não foram suficientes para mitigar a retração para o cimento de alta resistência inicial, enquanto que o teor de 3% não mitigou a retração para os concretos com cimento com escória. A adição de CSA provoca o aceleração da formação de etringita nas primeiras idades, sendo quanto maior o teor de CSA maior a formação de etringita dificultando a perda de água para o meio, podendo ser considerado como ideal a utilização de 7% de CSA.

O uso da fibra polimérica é muito comum em concretos aplicados em piso devido a sua eficiência comprovada em reduzir a exsudação e retração plástica do concreto, evitando assim fissuras superficiais. Sendo indicado nesse caso um menor consumo de FP para mitigar a retração hidráulica em concretos autoadensáveis, uma vez que o aumento do teor de FP interfere na formação e cinética dos poros do CAA, visto que, o concreto autoadensável é mais coeso que o concreto convencional não sendo recomendado o teor indicado pelo fabricante de 300 a 600 g de fibra por metro cúbico de concreto.

O emprego do SAP no concreto autoadensável apresenta grande variabilidade quando alterado o tipo de cimento utilizado no concreto. Verifica-se que para cada cimento existe um teor ideal de adição, sendo de 0,20% para o CP V ARI, de 0,10% ao CP II-Z e de 0,15% para o CP II-E. Por se tratar de um tipo de cura interna, a aplicabilidade do SAP é mais eficiente para controlar retração autógenas do que hidráulica, uma vez que a função do polímero é perder água para o ambiente com menor umidade relativa e ao perder a água acaba aumentando os poros do concreto e conseqüentemente a tensão superficial facilitando o desenvolvimento da retração hidráulica.

4.5.3 Perda de Massa na Retração Hidráulica

O ensaio de perda de massa na retração hidráulica foi realizado para os três corpos de prova prismáticos utilizados no ensaio de retração hidráulica, sendo que após a leitura os prismas eram pesados. A Figura 84 apresenta a perda de massa dos concretos aos 28 dias. Os resultados de perda de massa são apresentados no 0, da Tabela 64 à Tabela 102.

Os dados foram avaliados pela análise de variância por interação tripla (Tabela 142), interação dupla (Tabela 143) e interação simples (Tabela 144), com as tabelas apresentadas no Apêndice D. A análise de variância com 5% de significância mostra que existe a interação dentre o cimento e a adição no que diz respeito à influência no resultado de perda de massa.

Verifica-se na Figura 84 que o cimento de alta resistência inicial apresenta menores valores de perda de massa do que os cimentos compostos, enquanto o comportamento das adições é distinto para cada tipo de cimento.

A perda de massa é mais acentuada para os cimentos compostos, sendo a média de -2,5% para o CP II-Z, -1,8% para o CP II-E e de -0,7% para o CP V ARI. As adições conseguiram reduzir a perda de massa para todos os concretos feitos com CP II-Z, e praticamente para todos os concretos com CP II-E, exceto adição do polímero superabsorvente com 0,15% de adição. As misturas com CP V ARI obtiveram resultado satisfatório de mitigação apenas para um teor de cada adição, sendo: 1,0% de redutor de retração (SRA); 5% de compensador de retração (CSA); 0,15% de fibra polimérica e 0,20% do polímero superabsorvente.

A perda de massa está relacionada a perda de água no estado endurecido do concreto, dependendo da umidade relativa do ar e do tamanho dos poros capilares, em concretos convencionais a secagem é rápida e está relacionada com a retração por secagem ou hidráulica, sendo uma relação direta entre as variáveis. Em concretos de alto desempenho, a secagem do concreto é mais lenta, pois os poros capilares são muitos finos e se desconectam rapidamente, resultando em perdas de massa por secagem inferiores aos concretos convencionais (TAVARES, 2008). No entanto o estudo realizado nessa pesquisa não obteve uma correlação direta entre a retração hidráulica e a perda de massa.

Verifica-se que mesmo ocorrendo uma alta perda de massa para os concretos estudados não foi verificado uma taxa de retração hidráulica diretamente proporcional à essas perdas (Figura 74 e Figura 84).

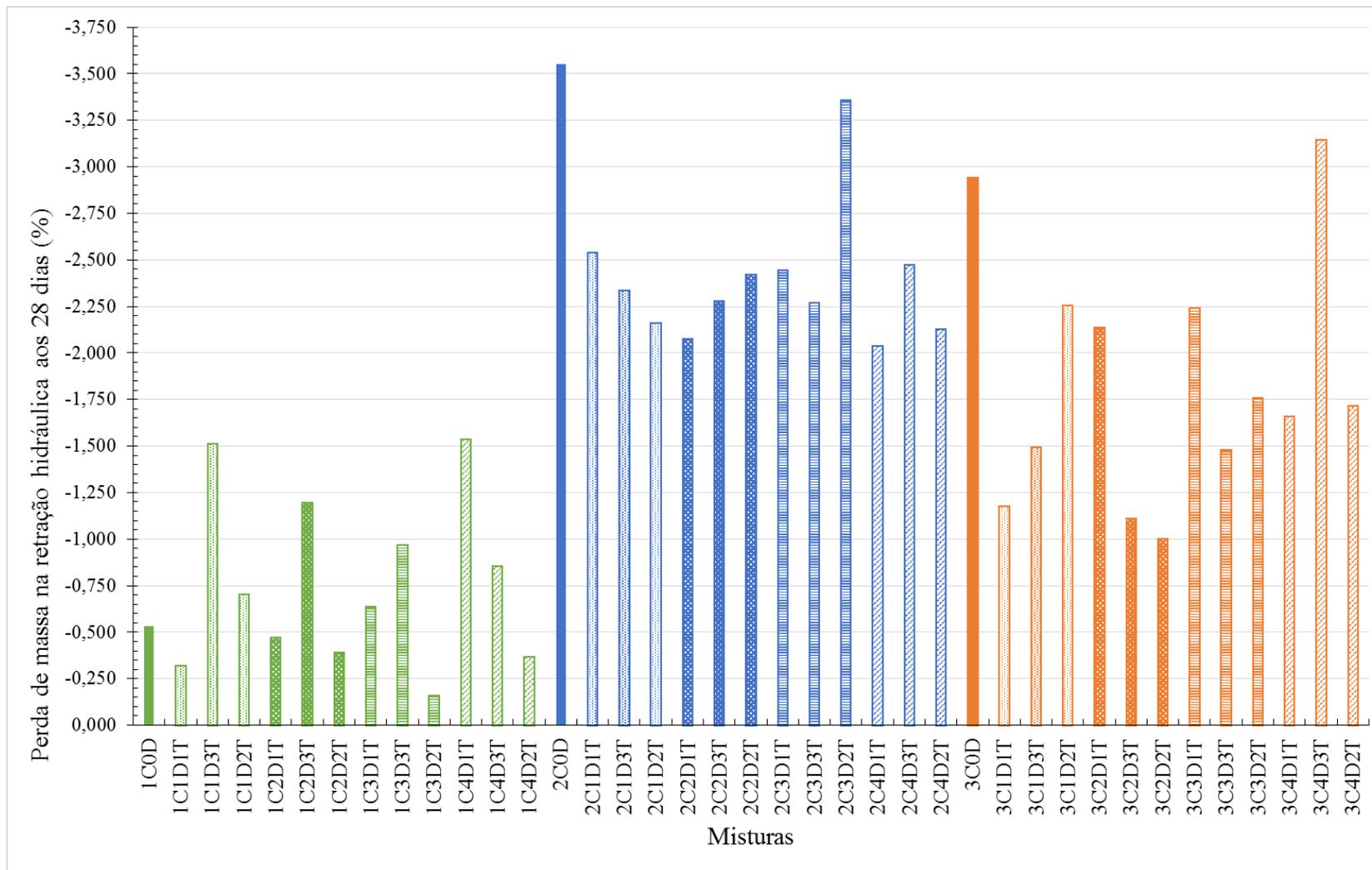


Figura 84: Perda de massa na retração hidráulica.

4.5.3.1 Influência do Cimento

A Figura 85 apresenta a influência dos tipos de cimento na perda de massa hidráulica aos 28 dias, assim como a retração hidráulica dos concretos aos 28 dias.

Pode-se analisar que existe um comportamento inverso entre os comportamentos de perda de massa e de retração hidráulica, onde quanto menor a perda de massa maior a retração hidráulica, fato que pode ser explicado pela tensão superficial da água nos poros, se a existe menos água nos poros menor será a tensão gerada pela folga da água do concreto para o meio.

O tipo de cimento também influencia na perda de massa, devido a sua composição físico-química, cimentos mais finos apresentam uma menor perda de massa, uma vez que existe um elevado consumo de água nas primeiras idades, caso do CP V ARI. Já as presenças de adições influenciam a perda de massa de forma negativa, resultando em maiores perdas de massa ao longo do tempo.

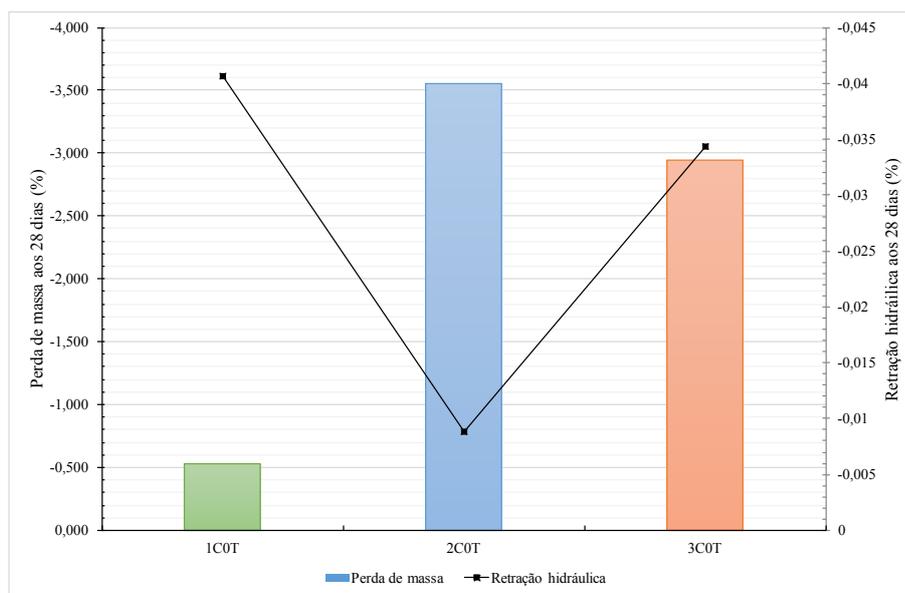


Figura 85: Influência do tipo de cimento na perda de massa hidráulica.

A Figura 86 mostra a evolução da perda de massa para os concretos confeccionados com CP V ARI, onde verifica-se a perda de massa entre -1,6% e -0,2%, as misturas tendem a apresentar uma estabilização para a perda de massa após 21 dias, onde a maior parte da água livre já evaporou, a não ser as misturas com 0,10% de polímero, 1,5% do aditivo redutor de retração e para 5% de adição compensadora de retração.

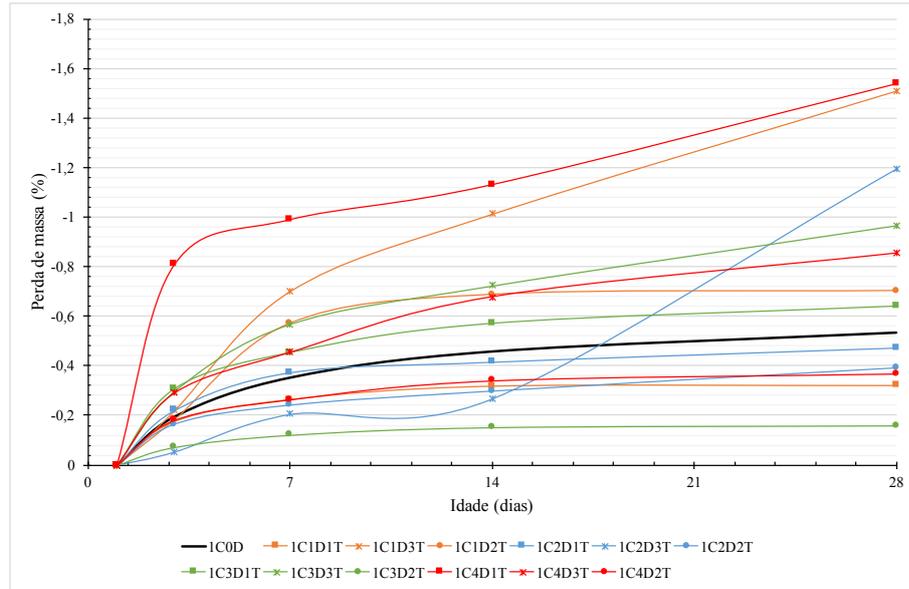


Figura 86: Evolução perda de massa para o cimento CP V ARI.

A Figura 87 apresenta a perda de água ao longo do tempo para as misturas de concreto com CP II-Z, existe um acréscimo exponencial para a mistura de controle e de 0,15% de adição de fibra após 14 dias, sendo que as demais misturas apresentaram comportamento semelhante ao longo do tempo. A diferença entre as duas misturas e as demais pode ser explicada por uma variação de umidade no dia de realização do ensaio.

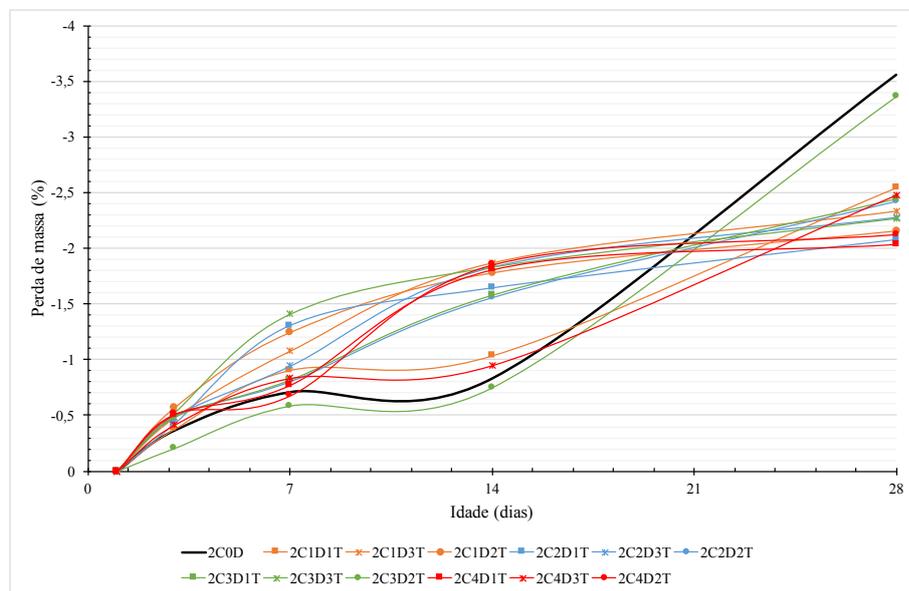


Figura 87: Evolução perda de massa para o cimento CP II-Z.

A Figura 88 apresenta o comportamento das misturas de concreto com CP II-E, onde verificar-se uma semelhança entre o comportamento de todos os concretos, no entanto, diferentes do CP II-Z o uso das adições apresentaram valores finais de perda de massa inferiores ao controle e com mais variabilidade de valores.

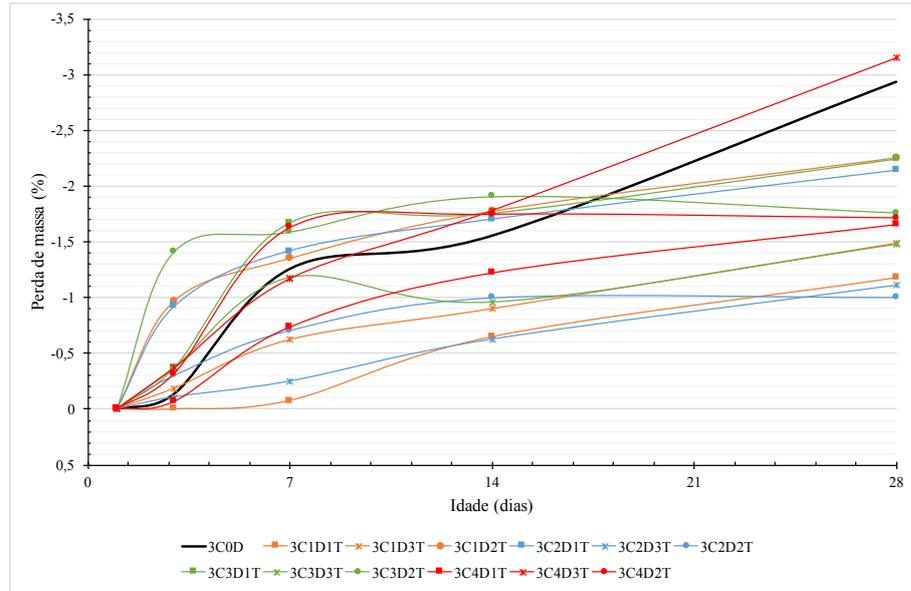


Figura 88: Evolução perda de massa para o cimento CP II-E.

4.5.4 Influência das Adições

A Figura 89 ilustra a evolução da perda de massa durante o tempo de realização de o ensaio da retração hidráulica para os concretos com adição de SRA. As misturas com CP II-E e com CP II-Z apresentam comportamento crescente da perda de massa ao longo do tempo, enquanto que as misturas para CP V ARI, mostra comportamento de estabilização após os 10 dias de idade. O comportamento da perda de massa não corresponde ao comportamento da retração hidráulica, para os cimentos compostos, fato que pode ser explicado pela estabilização da retração por secagem, mas ainda existe pode estar ocorrendo retração química e autógena.

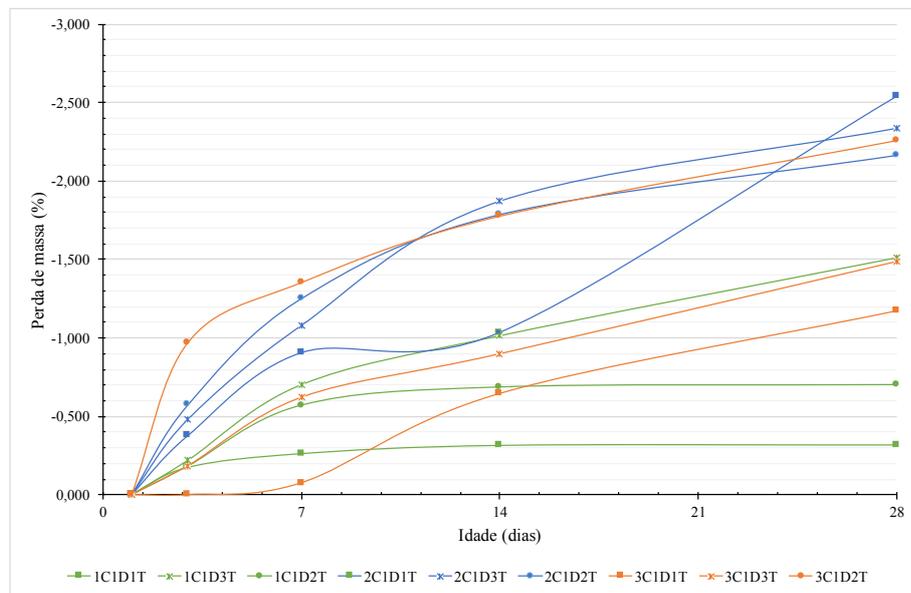


Figura 89: Evolução perda de massa para o redutor de retração (SRA).

A Figura 91 apresenta a evolução da perda de massa para o compensador de retração, misturas com 7% de adição comportam-se de maneira estável após os 21 dias, quanto que adições em teores inferiores a 7% exibem comportamento crescente depois desse período. No entanto as misturas apresentam retrações hidráulicas estáveis no período de 14 a 28 dias, sendo que nesse caso a perda de água não influencia na retração, uma vez que, a água presente nos capilares livres, podem não contribuir com tensões negativas, ou a formação de etringita restrinja o movimento.

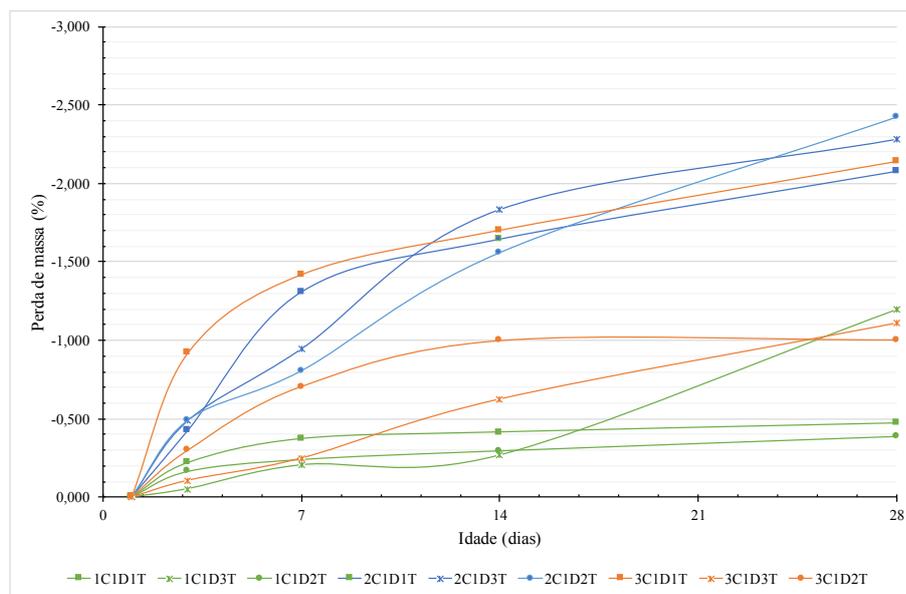


Figura 90: Evolução perda de massa para o compensador de retração (CSA).

A Figura 91 apresenta a perda de massa para concretos com fibra polimérica, o comportamento da perda de massa é semelhante ao comportamento da retração hidráulica. Entretanto os cimentos com maiores perdas de massa, CP II-E e CP II-Z, apresentaram menores retrações hidráulica. Verifica-se que o teor dessa adição depende do tipo de cimento para mitigar a perda de massa.

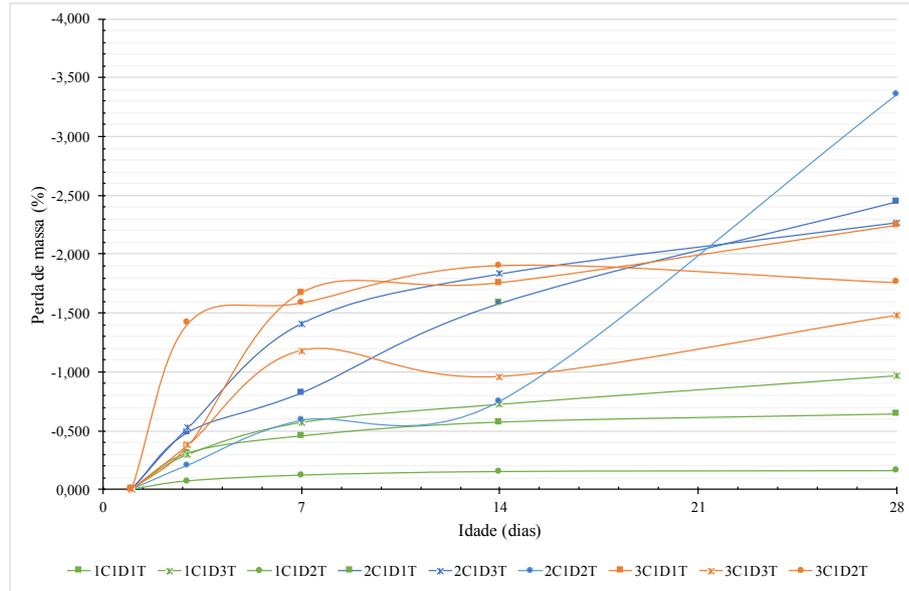


Figura 91: Evolução perda de massa para a fibra polimérica (FB).

A Figura 92 mostra a evolução da perda de massa em relação ao tempo para os concretos com SAP, o comportamento da perda de massa é inverso da retração hidráulica, onde as maiores retrações resultaram em menores perda de massa, no entanto o comportamento dos teores é similar.

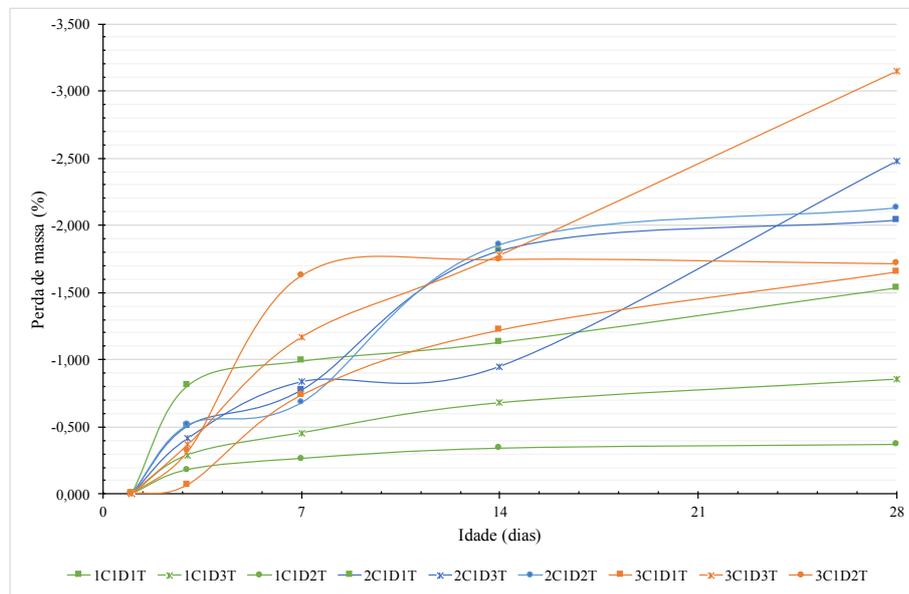
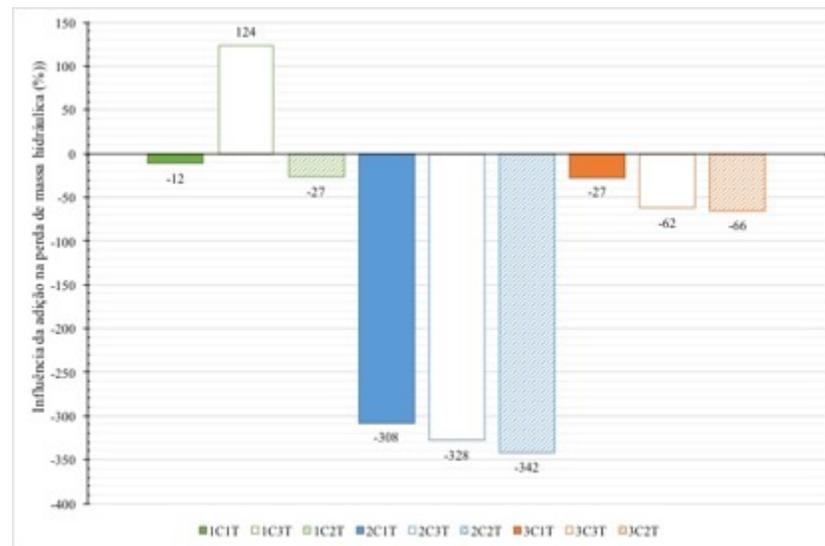


Figura 92: Evolução perda de massa para polímero superabsorvente (SAP).

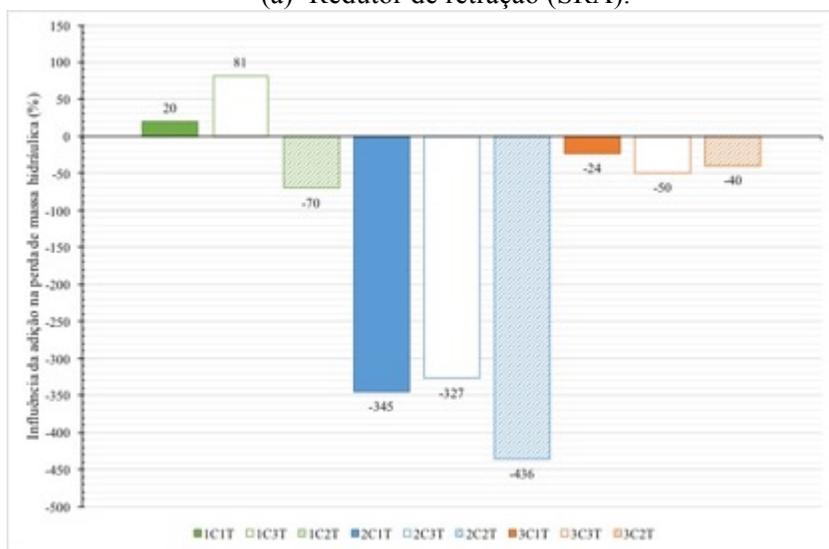
A Figura 93 apresenta a interferência das adições no resultado final de perda de massa aos 28 dias. Sendo que valores negativos representam mitigação da perda de massa em relação ao concreto de referência.



(a) Redutor de retração (SRA).



(b) Compensador de retração (CSA).



(c) Fibra polimérica (FP).



(d) Polímero superabsorvente (SAP).

Figura 93: Influência das adições na perda de massa hidráulica aos 28 dias.

A utilização do aditivo redutor de retração (SRA) no concreto mostrou-se favorável em todos os teores quando combinado com os cimentos compostos, para o CP V ARI apenas o teor de 1,0% em relação a massa de cimento possibilitou a mitigação. O comportamento do SRA é inversamente proporcional a mitigação, sendo que maiores teores reduzem o potencial de mitigação da perda de massa, sendo recomendado a incorporação de 1,0% em relação a massa de cimento.

O emprego do compensador de retração (CSA) apresentou valores de mitigação similares ao SRA, no entanto para essa adição, quanto maior o teor empregado, maior o potencial de mitigação. Recomenda-se a incorporação de 7,0% em relação a massa de cimento para obtenção da mitigação da perda de massa em todos os cimentos.

A fibra polimérica (FP), apresenta comportamento variado em relação ao teor de fibra, sendo que a incorporação de 0,15% em relação a massa de cimento, ou 660 gramas por metro cúbico de concreto, mostrou-se efetiva na mitigação da perda de água.

A incorporação do polímero superabsorvente (SAP), mostrou-se eficiente para o teor de 0,20% em relação a massa de cimento.

O potencial de mitigação das adições está correlacionado com o tipo de cimento empregado, para o CP V ARI, que apresenta uma pasta com teor de hidratação superior aos demais cimentos, ocorre a menor perda de massa aos 7 dias, enquanto que para o cimento com adição pozolânica, reatividade lenta em comparação ao cimento composto por escória, a perda de massa é em torno de 600% maior que para o CP V ARI. As adições nesse caso apresentaram maiores valores de retração para o CP II-Z do que para os demais cimentos, fato que pode estar ligado a perda de massa do concreto referência, onde quanto maior a perda de massa do concreto sem adição maior será o potencial de mitigação.

5 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Nesse capítulo são descritos o resumo dos resultados encontrados para cada tipo de ensaio em relação as variáveis de estudo, de forma a identificar o desempenho das adições utilizadas.

5.1 PERDA DE MASSA NO ESTADO FRESCO

Conforme análise da ANOVA, existe influência significativa apenas do cimento. Essa influência é ocasionada pela diferença do tempo de pega dos concretos.

O cimento CP V ARI apresenta taxa de evaporação superior aos demais cimentos, enquanto que a perda de massa é próxima para os três cimentos estudados, não resultando em uma diferença significativa, no entanto no tipo de cimento influência nos teores empregados das adições.

O emprego de adições é considerado tecnicamente significativa por ser capaz de reduzir em até 50% a perda de massa das misturas. Quanto aos teores de adições tem-se:

- O SRA apresenta teor ideal de 1,5% para o CP V ARI, 1,0% para o CP II-Z, não sendo capaz de reduzir a perda de massa nos teores estudados, 2,0% para o CP II-E;
- O CSA apresenta teor ideal de 3,0% para o CP V ARI; 5% para o CP II-Z; 7% para o CP II-E;
- A FP apresenta teor ideal de 0,05% para o CP V ARI e para o CP II-E, e 0,10% para o CP II-Z;
- O SAP apresenta teor ideal de 0,10% para o CP V ARI, 0,15% para o CP II-Z, não sendo capaz de reduzir a perda de massa nos teores estudados, 0,20% para o CP II-E.

Analisando-se as tendências em reduzir a perda de massa em todas as misturas, considerando os diferentes tipos de cimento, a melhor adição é o CSA em teores superiores à 5%. O fabricante recomenda a incorporação de 7% para mitigar o efeito de retração, sendo o resultado para perda de massa compatível com os estudos para retração.

5.2 TAXA DE EVAPORAÇÃO

Conforme análise de ANOVA, existe influência significativa do tipo de cimento e do tipo de adição utilizada.

A diferença entre a taxa de evaporação dos tipos de cimento apresenta relação com o tempo de pega dos cimentos, uma vez que a taxa de evaporação é função do tempo em que a amostra fica exposta, sendo considerada estatisticamente significativa, mas não tecnicamente. O CP V ARI por apresentar um menor tempo de pega e consequentemente apresenta uma maior taxa de evaporação, no entanto considerando-se a perda de massa os cimentos deveriam apresentar taxas similares de evaporação. Verifica-se que a taxa de evaporação é função da quantidade de água perdida durante o tempo de pega.

Em relação aos tipos e teores de adições empregadas, existe relação entre o tipo de cimento e o teor mais recomendado para reduzir a perda de massa é de:

- O emprego de SRA nos teores estudados não foram suficientes para reduzir a taxa de evaporação em CAA com CP II-Z, sendo indicado o teor de 1,5% para o CP V ARI e de 2,0% para o CP II-E, o teor de 2,0% de SRA possibilitou a redução da taxa para o CP II-Z, mas não suficiente para mitigar;
- A incorporação do CSA mostrou-se efetiva para qualquer cimento, sendo indicado o teor de 5%;
- A FP é indicada em qualquer teor para o CP V ARI, enquanto que no teor de 0,10% para CP II-Z e de 0,05% para o CP II-E;
- O SAP é indicado incorporar no teor de 0,15% para o CP V ARI, 0,20% para o CP II-E, sendo que para o CP II-Z o melhor teor é a incorporação de 0,15%, não sendo capaz de mitigar a taxa de evaporação.

Analisando-se a tendência da composição cimento X adição recomenda-se utilizar o CP V ARI, com 0,15% de FP ou 0,15% de SAP. As adições recomendadas são ambas poliméricas e aprisionam a água capilar da mistura pela adoção nas suas partículas, resultando em uma menor taxa de evaporação devido a maior tensão necessária para retirar a água adsorvida aos polímeros.

5.3 PERDA DE TRABALHABILIDADE

Considerando o nível de significância de 5% não foi encontrada relação entre o tipo de cimento ou adição utilizada e a perda de trabalhabilidade, no entanto tecnicamente foram verificados a influência do tipo de adição e do teor empregado.

Verificou-se que a perda de trabalhabilidade não está relacionada com o espalhamento inicial das misturas, mas sim com a composição do traço do concreto, onde não foi verificada diferença entre os diferentes cimentos empregados.

Com relação ao tipo de adição e teor empregados nos concretos têm-se que:

- O comportamento do SRA está relacionado ao tipo de cimento, enquanto que para o CP V ARI quanto maior o teor empregado maior a perda de trabalhabilidade, para o CP II-E ocorre o contrário, onde, quanto maior o teor menor a perda de trabalhabilidade. O CP II-Z apresenta diferentes comportamentos com o aumento do teor. Sendo considerado como melhor teor de aplicação 2,0% para os cimentos compostos e 1,0% para o CP V ARI;
- A incorporação do CSA mostra que quanto menor o teor adicionado ao concreto menor a perda de trabalhabilidade, uma vez que quanto maior o teor de CSA maior será a concentração de etringita, modificando assim a trabalhabilidade. Para tanto é recomendado o teor de 3% para todos os cimentos empregados na pesquisa;
- O teor ideal empregado de FP está relacionado ao tipo de cimento utilizado, para o CP V ARI e CP II-E é recomendado o uso de 0,05%, enquanto que para o CP II-Z recomendasse a adição de 0,10%;
- O SAP apresenta comportamento distinto entre o cimento de alta resistência inicial e os cimentos compostos. O teor ideal de 0,10% de SAP para todos os cimentos, no entanto quanto maior o teor de SAP ao CP V ARI maior a perda, enquanto que para os cimentos compostos existe o limite de saturação em 0,20%.

Quanto a perda de trabalhabilidade é recomendado, o uso do CP II-E, pois, trata-se de um cimento fino, mantendo por mais tempo a característica de fluidez do CCA. Quanto ao tipo de adição empregada é recomendável utilizar a fibra polimérica em teores de 0,05%, cerca de 220 gramas de FP por metro cúbico de concreto valor abaixo do recomendado pelo fabricante e de pesquisas já realizadas, ou de CSA com teor de 3%, sendo esse teor abaixo do limite recomendado pelo fabricante para mitigar a movimentação volumétrica por retração.

5.4 HABILIDADE PASSANTE

O resultado da ANOVA mostrou que não existe diferença significativa na habilidade passante quando da aplicação dos diferentes cimentos, tendo o resultado do anel-J com diferença de 3% entre as amostras.

A incorporação de adições mitigadoras ao CAA altera significativamente a habilidade passante, sendo:

- A incorporação do SRA altera significativamente a habilidade passante, onde somente o teor de 2,0% para o CP II-Z e de 1,5% e 2,0% para o CP II-E foram capazes de manter a habilidade passante dentro dos limites preconizados na norma;
- O CSA altera a reologia dos concretos ao formar etringita para compensar a retração, dessa forma verificou-se que apenas o teor de 1,5% para o CP II-Z e de 1,0% e 2,0% para o CP II-E mantém o CAA dentro dos limites;
- A adição de fibras poliméricas, não apresentam um padrão de comportamento, tendo como teor ideal 0,10% de CP V ARI e CP II-Z e 0,05% para o CP II-E, sendo que os teores de 0,15% para o CP V ARI e de 0,10% para o CP II-E modificaram os concretos de forma a não serem mais classificados pela norma;
- O uso de SAP não se mostrou favorável quando da análise da habilidade passante, sendo que apenas os teores, de 1,0% e 1,5% para o CP V ARI e 1,0% e 2,0% para o CP II-E.

O concreto autoadensável, apresenta melhor característica de habilidade passante quando confeccionado com cimento CP II-E e com a adição de 0,05% de fibra polimérica, em relação a massa de cimento. No entanto a adição de 0,05%, resulta em 220g de fibra por metro cúbico de concreto, valor considerado abaixo do indicado para mitigar a retração de concretos.

5.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Como esperado e conhecido no meio acadêmico o tipo de cimento influencia no valor da resistência, tanto aos 7 dias, quanto aos 28 dias. Verificou-se que o ganho de resistência, nesse período, é menor para o CP V ARI e maior para o CP II-E.

O emprego das adições aumenta a resistência dos concretos, tanto aos 7 quanto aos 28 dias, sendo que os teores que mais contribuem para a resistência são:

- O comportamento do SRA, depende do tipo de cimento empregado, onde para o CP VI ARI, recomenda-se o teor de 1,5%, para o CP II-Z quanto maior o teor de adição, menor a resistência, recomenda-se o uso de 1,0%. Para o CP II-E tem-se como emprego ideal 1,5% de SRA;
- A adição de CSA é influenciada pelo tipo de cimento, onde para o CP II-Z quanto menor o teor empregado maior a resistência, para o CP II-E quanto maior o teor adicionada maior a resistência, já para o CP V ARI recomenda-se o uso de 5% de adição em relação a massa de cimento;
- A fibra polimérica é a adição que menos contribui para o ganho de resistência. O uso de FP para o CP V ARI é recomendado no teor de 0,05%, para o CP II-Z e CP II-E o teor ideal é de 0,10%;
- A adição de SAP apresenta comportamento variável com o tipo de cimento, sendo que para o CP V ARI e CP II-E apresentam teor recomendável de 0,15% e para o CP II-Z de 0,10%.

Com relação a resistência mecânica pode-se considerar que o emprego do compensador de retração no teor de 5% e o cimento CP II-E quando necessária resistência em idades superiores há 28 dias e a utilização do CP V ARI para concretos que necessitem de elevada resistência em idades inferiores há 7 dias. O teor de 5% de CSA é menor do que o indicado pelo fabricante, mas condiz com trabalhos já realizados (RODRIGUES, 2011 e MELO NETO, 2008) de que teores entre 3,5% e 10% contribuem significativamente para a redução da retração e alterações mecânicas.

5.6 MÓDULO DE ELASTICIDADE

O módulo de elasticidade sofre influência da matriz cimentícia dos concretos, sendo que no CAA a matriz polimérica ocupa um maior volume do que os concretos convencionais, resultando, portanto, em valores de módulo para o CAA inferiores ao CV.

O tipo de cimento influencia no módulo de elasticidade, onde cimentos mais finos apresentam maiores módulos, caso do CP V ARI e do CP II-E, tanto para os 7 quanto para os 28 dias. Verificou-se também que o desenvolvimento do módulo de elasticidade para o CAA apresenta o mesmo comportamento que o CV, apresentado taxas de incrementos inferiores ao ser comparado com o ganho de resistência no mesmo período.

As adições na maioria dos casos, reduzem o módulo de elasticidade aos 7 dias e aumentam aos 28 dias, sendo os melhores teores incorporados de:

- A adição de SRA provoca a redução do módulo para o CP V ARI e para o CP II-E aos 7 dias, aos 28 dias, para o CP V ARI, apenas o teor de 1,0% de massa aumenta o módulo, enquanto que para os demais cimentos recomenda-se incorporar 1,5%;
- Para o CSA aos 7 dias apenas o CP II-Z apresenta crescimento no valor do módulo, no entanto aos 28 as adições têm efeito de incremento no valor de módulo, onde recomenda-se a utilização de 3,0% para todos os tipos de cimento;
- As fibras poliméricas na maioria dos casos, reduz o módulo aos 7 dias, e aumentam aos 28 dias. O teor recomendado é de 0,05% para o CP V ARI e CP II-Z, e de 0,15% para o CP II-E;
- O emprego do SAP reduz o módulo aos 7 e 28 dias para o CP V ARI, enquanto que para os demais cimentos, existe o comportamento oposto em relação aos teores e o tipo de cimento. É recomendável o emprego de 0,20% ao CP V ARI, 0,15% para o CP II-Z e de 0,10% para o CP II-E.

Com relação ao módulo de elasticidade, verifica-se que existe uma relação entre o tipo de cimento, o tipo de adição e o teor empregado nos concretos. Pode-se considerar que a melhor adição para o aumento do módulo de elasticidade é o redutor de retração, no teor de 1,0%, valor recomendado pelo fabricante e pela literatura, no entanto não foi verificado o comportamento linear com a variação do teor.

5.7 RETRAÇÃO AUTÓGENA

Conforme análise da ANOVA, confirma-se o esperado de que o tipo de cimento, adição mitigadora e teor empregado, alteram a retração autógena dos concretos.

O cimento CP II-Z apresenta a menor retração autógena dentre os cimentos estudados, Melhor cimento é o CP II-Z, por se tratar de um cimento menos fino que os demais, uma vez que quanto mais refinada a microestrutura da mistura maior será a retração autógena.

O comportamento das adições frente a retração autógena, foram satisfatórias para o cimento de alta resistência inicial e para o cimento com adição de escória, enquanto que para concretos com CP II-Z, somente alguns teores foram considerados satisfatórios, fato que pode

estar relacionado com a menor retração da mistura de referência do CP II-Z. Quanto aos teores de adições tem-se:

- O SRA apresenta teor ideal de adição de 1,0% para todos os cimentos, no entanto para o CP II-Z o emprego de SRA não possibilitou a mitigação da retração para nenhum teor;
- A aplicação de aditivo compensador (CSA) mostrou-se eficaz para o teor de 7% em todos os cimentos;
- O emprego de fibra de polipropileno (FP) no teor de 0,05% para todos os cimentos foi capaz de mitigar a retração autógena, 0,05% representa 220 g de fibra por metro cúbico de concreto;
- A adição de SAP se faz efetiva, no teor de 0,10% para o CP V ARI e CP II-E, enquanto que, nenhum dos teores estudados foi capaz de reduzir a retração para o cimento CP II-E.

Avaliando-se a tendência de reduzir os efeitos da retração autógena, a melhor adição é o cimento compensador de retração (CSA) no teor de 7%, compatível com a recomendação do fabricante para reduzir a retração e condizente com trabalhos como de Melo Neto (2008).

5.8 RETRAÇÃO HIDRÁULICA

O resultado da análise de variância para a retração hidráulica, identificou a influência do tipo de cimento em combinação com o tipo de adição utilizada.

O tipo de cimento mais eficiente quanto a evitar o processo de retração hidráulica foi o CP II-Z, uma vez que assim como na retração autógena, menores poros tendem a aumentar a retração, sendo que os cimentos CP V ARI e CP II-E são mais finos que o cimento com adição pozolânica.

A eficiência das adições testadas está correlacionada com o tipo de cimento usado no concreto, resultando na maior eficiência em:

- Adição de 1,0% de SRA nas misturas com CP V ARI e CP II-E, no entanto, não foi encontrado um teor ideal que mitigasse a retração hidráulica para o cimento com adição pozolânica;
- O compensador de retração foi efetivo para a incorporação de 7% em relação a massa de cimento, para todos os concretos analisados;

- A fibra polimérica mostrou-se efetiva no teor de 0,05% em relação a massa de cimento para o CP V ARI e CP II-E, enquanto que para o CP II-Z, não houve mitigação da retração para os valores estudados;
- O emprego do polímero superabsorvente foi capaz de mitigar a retração hidráulica apenas para o CP II-E no teor de 0,20% de adição em relação a massa de cimento, sendo que para o CP V ARI e CP II-Z não foi encontrado um teor de adição capaz de reduzir satisfatoriamente a retração.

De forma a mitigar a retração hidráulica, assim como a retração autógena, recomenda-se o emprego de 7,0% de adição da adição compensadora (CSA). Onde o teor de 7,0% se faz compatível com a recomendação do fabricante para reduzir a retração e condizente com trabalhos como de Melo Neto (2008).

5.9 PERDA DE MASSA

Em relação a perda de massa durante a realização do ensaio de retração hidráulica tem-se pela análise da variância que o tipo de cimento e a adição empregada alteram o resultado final da perda de massa.

Em relação a perda de massa tem-se que o cimento mais indicado é o CP V ARI, sendo encontrado uma correlação inversa entre a perda de massa e a retração hidráulica, aos 28 dias.

Quanto ao emprego das adições, verifica-se a interatividade com o tipo de cimento, resultado para cada adição diferentes teores, como:

- O SRA apresentou eficácia de mitigar a perda de massa no teor de 1,0% para todos os cimentos;
- O teor de 7,0% de adição de CSA em todos os cimentos, mostrou-se favorável para reduzir a perda de massa;
- A adição de fibra de polipropileno (FP), é eficiente no teor de 0,15% em relação a massa de cimento para todos os cimentos;
- O emprego do SAP depende do tipo de cimento empregado, sendo o teor de 0,20% efetivo para o CP V ARI e CP II-E, e de 0,15% para o CP II-Z.

As adições poliméricas, tanto da fibra de polipropileno, quando do polímero superabsorvente, são as mais efetivas para reduzir a perda de massa. O teor de aplicação remendável de FP é de 0,15% em relação a massa de cimento, 660 gramas por metro cubico de

concreto, valor superior ao indicado pelo fabricante. Já para a eficácia do SAP, recomenda-se a incorporação de 0,20% em relação a massa de cimento.

Os valores encontrados para redução da perda de massa, foram salvo a adição da fibra de polipropileno, são similares aos teores e tipo de adição recomendada para mitigar a retração hidráulica, uma vez que as duas variáveis são correlacionadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliando a fluidez e a perda dessa característica ao longo do tempo, de mistura e aplicação do concreto autoadensável, verificou-se que o emprego de adições quimicamente ativas, com o aditivo redutor de retração, o polímero superabsorvente e o cimento compensador de retração, não são recomendadas para concretagens que requerem tempo. A interação entre essas adições e os cimentos, para o traço estudado, transformam as misturas de concreto autoadensável após 20 minutos de mistura em concretos fluidos, ou até mesmo, em concretos convencionais, pois alteram a sintética da hidratação do cimento, resultando em uma menor quantidade de água livre na mistura para propiciar a fluidez.

A habilidade passante do concreto autoadensável (CAA), mostrou-se correlacionada com a fluidez livre do concreto, quanto menor a capacidade de escoar, sem obstrução, pior será a habilidade passante do CAA, pelo método do Anel-J. A habilidade passante do concreto, também é alterada com o tipo de adição empregada, as adições quimicamente ativas resultaram em concretos fora da zona classificável quanto a NBR 15823-1 (2010), sendo nesse caso necessário o procedimento de adensamento do concreto para que não ocorra perda da durabilidade pela criação de ninhos de concretagem por obstrução da armadura.

Quanto as propriedades mecânicas, de resistência à compressão e módulo de elasticidade, foram verificadas que as adições apresentaram comportamento diferentes de pesquisas já realizadas e citadas na revisão bibliográfica. Para o emprego das adições do aditivo compensador de retração, da fibra polimérica e do polímero superabsorvente esperava-se a redução da resistência aos 28 dias, no entanto, os resultados mostram que todas as adições aumentam a resistência à compressão do concreto. Com relação ao módulo de elasticidade houve a redução dos resultados em comparação aos concretos de referência, essa redução pode estar relacionada com a alteração da composição química da zona de transição do agregado, ocasionada pela incorporação do redutor e do compensador de retração, enquanto que as adições poliméricas, tanto a fibra como o polímero superabsorvente, consideradas curas internas, alteram a umidade interna e conseqüentemente o grau de hidratação da zona.

A retração plástica, nesse trabalho, foi avaliada pela perda de massa no estado fresco do concreto, entre o início e o fim da pega. Verificou-se que o tipo de cimento em interação com o tipo de adição altera a perda de massa. Cimentos mais finos resultam em uma menor retração plástica, pois tornam a mistura mais coesa e reduzem o efeito de assentamento plástico. Todas as adições foram consideradas eficientes quanto a mitigação da retração plástica, sendo

a adição do cimento expansivo mais eficiente para a mitigação da retração plástica, assim como as adições poliméricas que provocam a adsorção de água, reduzindo a exsudação da mistura.

A retração autógena e hidráulica, comportaram-se de forma similar ao analisar o tipo de cimento empregado, obtendo-se menores retrações para o cimento CP II-Z do que para os demais cimentos utilizados, fator que pode estar relacionado com a quantidade de C_3A , presente nesse cimento. As adições obtiveram, também, comportamento similares em reduzir os efeitos das retrações nos concretos, no entanto, conforme o mecanismo de reação da adição diferente é a sua mitigação para a retração autógena ou retração hidráulica. Onde as adições com característica de cura interna, fibra e polímero superabsorvente, foram mais eficientes em mitigar a retração autógena do que a retração química. Enquanto que o emprego do SRA, que pode ser aplicado como uma cura química, é mais efetivo para redução da retração hidráulica.

A determinação do melhor teor, deve ser dada em relação a adição aplicada, e a necessidade de manter as características do CCA, assim como a necessidade de avaliar a interação solução mitigadora x tipo de cimento.

Pode-se dizer que a mitigação e controle da retração no concreto autoadensável, é de fundamental importância, pois o consumo de cimento, a presença de finos, a baixa relação água cimento e o emprego de agregados com dimensões reduzidas, acarretam em valores de retração superiores ao concreto convencional, além do fato da aplicabilidade do concreto autoadensável estar relacionada à concretagem de elementos esbeltos que favorecem o processo de fissuração.

REFERÊNCIAS

ACI Committee 223. Expansive cement concretes - Present state of knowledge. **American Concrete Institute Journal**, v.67, n.8, p. 583-610, 1970.

AİTCIN, P.C. **A arte e a ciência do concreto de alto desempenho**. Roma,1997.

ANDRADE, W. P. **Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades**. São Paulo: Pini, 1997.

ARAÚJO, Cícero Thiago Figueiredo de. **Estudo do comportamento de juntas de argamassa reforçadas com fibras de polipropileno**. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MN 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. **NBR 10.908: Aditivos para argamassa e concreto – Ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 10908: Aditivos para argamassa e concreto - Ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 11.768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 15823-1: Concreto autoadensável Parte 1: Classificação, controle e aceitação no Estado Fresco**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 15823-2: Concreto autoadensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escamento - Método do cone de Abrams**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 15823-3: Concreto autoadensável Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 15900: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

____. **NBR 5732:** Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

____. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

____. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

____. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

____. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

____. **NBR 8522:** Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

____. **NM 131:** Concreto endurecido - Determinação da retração hidráulica ou higrometria do concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

____. **NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

____. **NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

____. **NM 45:** Determinação da massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

____. **NM 46:** Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μ m, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

____. **NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

____. **NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

____. **NM 65:** Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NM 76: Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine).** Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

BACKNANG, Alexander Assmann Aus. **Physical properties of concrete modified with super absorbent polymers.** 2013. 2013 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Studiengang Bauingenieurwesen, Institut Für Werkstoffe Im Bauwesen, Universität Stuttgart, Stuttgart, 2013.

BALAGURU, P. Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period. **In:** Journal of Materials. American Concrete Institute. May-June, 1994.

BROOKS, J.J.; MEGAT JOHARI, M.A.; MAZLOOM, M. Effect of admixtures on the setting times of high-strength concrete. **Cement and Concrete Composites**, v.22, n.4, p.293-301, 2000.

CEMENT CONCRETE AND AGGREGATES AUSTRALIA (Austrália). **Drying Shrinkage of Cement and Concrete.** Sydney: Cement Concrete And Aggregates Australia, 2002.

COLLEPARDI, M., BORSOI, A., COLLEPARDI, S., OLAGOT, J. J. O., TROLI, R. Effects of shrinkage reducing admixture in shrinkage compensating concrete under non-wet curing conditions. **Cement & Concrete Composites**, 27, 704-708, 2005.

COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON. **CEB-FIP Model Code 1990 - Design Code.** (Bulletin d'Information N°.203),1991

COUTINHO, A. S. **Fabrico e Propriedades do Betão.** Vol. 3. ed. LNEC. Lisboa: LNEC. 1994. cap. 11, p. 231-286.

CRAEYE, B., DE SCHUTTER, G. Experimental evaluation of autogenous shrinkage by means of a vertical dilatometer for concrete. **In:** RILEM Proc. PRO 52 Volume Changes of Hardening Concrete: Testing and Mitigation, Jensen OM, Lura P, Kovler K (eds) RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux France, 2006. PP. 21-30.

D'AMBROSIA, M. D., LANGE, D. A., BRINKS, A. J. **Restrained shrinkage and creep of self-consolidating concrete.** In: ACBM Second North American Conference On the Design and Use of SCC, 2005.

DAY, Richard; CLARKE, John. Plastic and thermal cracking. In: NEWMAN, John; CHOO, Bang Seng (Ed.). **Advanced Concrete Technology: Concrete Properties.** Oxford: Elsevier, 2003. p. 23-217.

European Federation of National Associations Representing Producers and Applicators of Specialist Building Products for Concrete, 2002, Syderstone, Uk. **Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. Syderstone, Uk: EFNARC, 2002. 32 p.

FARIA, Renato. Carlos Amado Brites aponta os principais cuidados e os erros mais comuns no uso de concreto autoadensável. **Téchne**, São Paulo, v. 1, n. 230, p.000-000, maio 2016. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/230/carlos-amado-brites-aponta-os-principais-cuidados-e-os-erros-370841-1.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2016.

FARIA, Renato. Solução fluida. **Téchne**, São Paulo, v. 1, n. 132, p.000-000, mar. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/132/artigo286483-3.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2016.

FERRAZ, André Luiz Nontato. **Avaliação da retração e fluências do concreto autoadensável para aplicação em elementos pré-moldados**. 2009. 253 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Campinas, Universidade de Campinas, Campinas, 2009.

FOLLIARD K. J., BERKE N. S. Properties of high-performance concrete containing shrinkage-reducing admixtures. **Cement and Concrete Research**, no 27, pp. 1357-1364, 1997.

FONSECA SILVA, E., **Variações dimensionais em concretos de alto desempenho contendo aditivo redutor de retração**. Tese de (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, dez, 2007.

FURQUIM, Minérios. **Características dos produtos**. Disponível em: <<http://www.mineriosfurquim.com.br/produtos.detalhe.php?id=2>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

GOMES, Paulo César Correia; BARROS, Alexandre Rodrigues de. **Métodos de Dosagem de Concreto Autoadensável**. São Paulo: Pini, 2009.

GOODIER, C. I. **Development of self-compacting concrete**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures & Buildings, 156, p.405-414, 2003.

GRACE. **Ficha técnica TEC-FLOW**. Porto Alegre: Grace, 2015.

HASHOLT, M. T., JENSEN, O. M., KOVLER, K., ZHUTOVSKY, S.. Can superabsorbent polymers mitigate autogenous shrinkage of internally cured concrete without compromising the strength? **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 31, n. 1, p.226-230, jan. 2012.

HASPARYK, N.P et al. **Deformações por Retração e Fluência**. In: CONCRETO: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 656-685.

HELENE, P; ANDRADE, T. **Concreto de cimento Portland**. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. IBRACON. São Paulo, 2007. p.905-944.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. In: MATERIAIS, **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 905-943.

HELENE, Paulo; HARTMANN, Carine T.. Concretos de alta resistência. **Téchne**, São Paulo, v. 1, n. 81, p.000-000, dez. 2003. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/81/artigo285299-1.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2016.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Concreto autoadensável**. 2014. Disponível em: <Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Concreto autoadensável. Disponível em:. Acesso em: 10 set. 2016.>. Acesso em: 10 set. 2016.

JENSEN, O. M.; HANSEN, P. F. Water-entrained cement-based materials II: experimental observations. **Cement and Concrete Research**, v. 32, 2002. PP. 973-978.

JENSEN, O.M. Use of superabsorbent polymers in construction materials. 1st International Conference on Microstructure Related Durability of Cementitious Composites 13-15 October 2008, Nanjing, China

KHAIRALLAH, Rabih S.. **Analysis of autogenous and drying shrinkage of concrete**. 2000. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Civil Engineering, McMaster University, Ontário, 2000.

KOVLER, K.; JENSEN, O. M. Novel techniques for concrete curing. *Concrete International*, Vol: 27, No: 9, September 2005, P: 39 – 42.

KUMM, T.C. Influência do emprego de polímeros superabsorventes nas propriedades de materiais à base de cimento Portland. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Agosto 2009.

LANGARO, Eloise Aparecida. **Cimento álcali ativado a partir da valorização da escória de alto forno a carvão vegetal**. 2016. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS. **Certificado de análise química quantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios X**. Curitiba: LATEC, 2006a.

LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE MINERAIS E ROCHAS. . **Certificado de análise mineral qualitativa por difratometria de raios x cimento CP II-Z 32**. Curitiba: LATEC, 2006b.

_____. **Certificado de análise mineral qualitativa por difratometria de raios x cimento CP II-E 32**. Curitiba: LATEC, 2006c.

_____. **Certificado de análise mineral qualitativa por difratometria de raios x cimento CP V ARI RS**. Curitiba: LATEC, 2006d.

LOPES, Anne Neiry de Mendonça. **Mitigação da retração autógena em concretos de alta resistência contendo aditivo redutor de retração e seus efeitos na macro e microestrutura**. 2011. 278 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

LOTURCO, Bruno. Desempenho elevado. **Téchne**, São Paulo, v. 1, n. 100, p.000-000, jul. 2005. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/100/artigo287031-1.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2016.

LURA, P., DURAND, F., MEJLHEDE, O.J. Autogenous strain of cement pastes with superabsorbent polymers. Volume Changes of Hardening Concrete: Testing and Mitigation. **In: RILEM Proceedings PRO 52**, O. M. Jensen et al. (eds.), RILEM Publications S.A.R.L., 2006. PP. 57-66.

MARQUES, Ana Carolina. **Concreto autoadensável: Caracterização da evolução das propriedades mecânicas e estudo da sua deformabilidade por solicitação mecânica, retração e fluência**. 2011. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MELO NETO, Antônio Acácio de. **Influência de aditivos redutores e compensadores de retração em argamassa e pasta com cimento de escória ativada**. 2008. 307 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MORIOKA, M.; SAKAI, E.; DAIMON, M. Study on hydration mechanism and material design of expansive additive. **In:** International Congress on the Chemistry of Cement, 2003b, p.710-718.

MORS, R. M.. **Autogenous Shrinkage:** Cementitious materials containing BFS. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Civil Engineering And Geosciences, Faculty Of Civil Engineering Andgeosciences, Self University Of Technology, Delf, 2011.

NAKAMURA, Juliana. Uso de aditivos e adições para o concreto cresce junto com a demanda por estruturas mais resistentes, duráveis e com características especiais. **Construção**, São Paulo, v. 1, n. 155, p.000-000, jun. 2014. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/155/artigo313019-1.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2016.

NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION. **Concrete CO2 Fact Sheet.** Silver Spring: Nrmca, 2012. Disponível em: <<http://www.nrmca.org/greenconcrete/concrete-co2-fact-sheet-june-2008.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.. **Concrete Technology.** 3. ed. Londres: Pearson Education Limited, 2010.

NEVILLE, Adam. **Concrete:** Neville's Insights and Issues. London: Thomas Telford, 2006.

NUNES, Nelson Lúcio; FIGUEIREDO, Antonio Domínguez de. **Retração do concreto de cimento Portland.** São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica da Usp, 2007. (BT/PCC/452).

OLIVEIRA, Miguel José; RIBEIRO, António Bettencourt; BRANCO, Fernando G.. Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to control autogenous shrinkage in self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, Oxford, v. 52, n. 1, p.267-275, maio 2013.

ONGHERO, Lucas. **Combate à retração do concreto com promoção de cura interna.** 2013. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

ORDÓÑEZ, Sirley Tatiana López. **Mitigação da retração autógena em micro concretos de alta resistência com adição de polímeros superabsorventes e aditivo redutor de retração.** 2013. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

PADRON et al. Effect of synthetic fibers on volume stability and cracking of Portland cement concrete and mortar. **In:** Journal of Materials. American Concrete Institute. July-August, 1990.

PEREIRA, Tobias Azevedo da Costa. **Concreto autoadensável, de alta resistência, com baixo consumo de cimento Portland e com adições de fibras de lã de rocha ou poliamida.** 2010. 281 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

PERSSON, B. **Self-Consolidating Concrete, High Performance and Normal Concrete affected by creep at different age, curing, loading level, strength and water-cement ratio with some interrelated properties.** In: IV International ACI/CANMET Conference on Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and testing

PILLAR, Nora Maria de Patta. **Propriedades mecânicas nas primeiras idades como predadoras das tensões induzidas e fissuração de concreto projetado reforçado com fibras.** 2014. 224 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PONS, G.; TORRENTI, J. M.. Retração e Fluência. In: OLLIVER, Jean-pierre; VICHOT, Angélique (Ed.). **Durabilidade do Concreto:** Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. São Paulo: Ibracon, 2014. p. 139-180. Tradução: O. Cascudo e H. Caasek.

REPETTE, W.L.; MAILVAGANAM, N.; SHEIKH, S. Calcium Sulfoaluminate Based Expansion Producing Admixtures. **In:** Two-Day CANMET/ACI International Workshop on Supplementary Cementing Materials, Superplasticizers and Other Chemical Admixtures.

REPETTE, Wellington L.. Concretos de alta resistência. **Téchne**, São Paulo, v. 1, n. 135, p.000-000, jun. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/135/artigo285721-3.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2016.

REPETTE, Wellington Longuini (Ed.). Concreto Autoadensável. In: ISAIA, Geraldo C.. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: Ibracon, 2011. p. 1769-1806.

RODRIGES, M. I.; LEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos.** Campinas-SP; Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor: 2009

RODRIGUES, Giana Sousa Sena. **Contribuição ao estudo da retração e da fluência e seus mecanismos de atuação a baixas idades em concretos estruturais.** 2010. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da

Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

RODRIGUES, Público Penna Firme. **Estudo da correlação entre as reações de hidratação do cimento e a retração do concreto.** 2011. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2011.

SATO, R.; XU, M.; YANG, Y. Stresses of High-Strength Concrete Due to Autogenous Shrinkage Combined with Hydration Heat of Cement. **In:** Proceedings of Third CANMET/ACI International Conference – High-Performance Concrete, edited by V. M. MALHOTRA, Kuala Lumpur, Malaysia, 1997 – pp. 837-852.

SCHRÖFL, C.; MECHTCHERINE, V.; GORGES, M. Relation between the molecular structure and the efficiency of superabsorbent polymers (SAP) as concrete admixture to mitigate autogenous shrinkage, **Cement and Concrete Research.** 2012.

SENISSE, Juliana Alves de Lima. **Influência do consumo de água, do teor de adição de microfibras de polipropileno e do tipo de cimento no fenômeno da retração por secagem em concretos empregados em pisos.** 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SILVA, Narciso Gonçalves da. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimentos de argamassa na fase plástica.** 2011. 329 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

TAVARES, Ludmila Rodrigues Costa. **Avaliação da retração autógena em concretos de alto desempenho com diferentes adições.** 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

TAZAWA, E.; MIYAZAWA, S. Experimental study on mechanism of autogenous shrinkage of concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 8, p. 1633-1638, 1995.

TUTIKIAN, Bernardo F.; ISAIA, Geraldo Cechella; HELENE, Paulo. Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 36. p. 1283-1325.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena. **Concreto Autoadensável.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2015.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto adensáveis**. 2007. 163 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VELASCO, Reila Vargas. **Concretos autoadensáveis reforçados com elevadas frações volumétricas de fibras de aço: Propriedades reológicas, físicas, mecânicas e térmicas**. 2008. 349 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

YAMAMOTO, K.; MORIOKA, M.; SAKAI, E.; DAIMON, M. Expansion Mechanism of Cement Added with Expansive Additive. **Concrete Research and Technology**, v.14, n.3, 2003.

APÊNDICE A RESULTADOS ENSAIOS ESTADO FRESCO

ESPALHAMENTO (SLUMP FLOW) E HABILIDADE PASSANTE (ANEL-J)

Tabela 23: Resultados Slump Flow e Anel-J.

Traço	Slump (mm)			Anel J (mm)		T500 (s)	Temperatura (°C)
	15 minutos	30 minutos	Perda (%)	Espalhamento	Diferença	15 minutos	Umidade Relativa (%)
1C0D	745	585	21	735	10	1,53	29 oC. 60% H
1C1D1T	750	595	21	655	95	2,32	26 oC. 69% H
1C1D3T	750	505	33	670	80	1,47	27oC 44%H
1C1D2T	915	0	100	780	135	0,75	23 oC. 30%H
1C2D1T	730	525	28	590	140	1,90	30 oC. 56% H
1C2D3T	540	200	63	375	165	3,44	23,3oC 58%H
1C2D2T	630	445	29	510	120	3,54	28 oC. 67% H
1C3D1T	725	660	9	695	30	1,25	27 oC. 45%H
1C3D3T	715	635	11	715	0	1,25	28oC 36%H
1C3D2T	700	550	21	590	110	3,03	30 oC. 60% H
1C4D1T	740	705	5	705	35	1,84	21,8 oC. 67% H
1C4D3T	735	525	29	695	40	1,82	26,3 oC. 51% H
1C4D2T	640	330	48	480	160	4,54	29 oC. 60% H
2C0D	750	640	15	715	35	1,41	19,5°C 64%
2C1D1T	755	485	36	695	60	1,72	20°C 67%
2C1D3T	680	300	56	535	145	2,37	30C 52%
2C1D2T	745	535	28	700	45	1,53	28C 57%
2C2D1T	755	500	34	645	110	1,16	21C 80%
2C2D3T	730	525	28	680	50	1,16	20C 91%
2C2D2T	705	455	35	645	60	2,12	19°C 67%
2C3D1T	675	420	38	635	40	2,53	27°C 47%
2C3D3T	700	615	12	675	25	1,36	22C 85%
2C3D2T	690	495	28	660	30	1,88	24,8°C 51%
2C4D1T	685	390	43	575	110	1,93	28C 57%
2C4D3T	685	200	71	600	85	3,53	26,4°C 46%H
2C4D2T	595	300	50	400	195	3,94	31C 45%
3C0D	725	630	13	725	0	1,91	24°C 65%
3C1D1T	720	350	51	500	220	1,50	26°C 62%
3C1D3T	760	510	33	710	50	1,25	23°C 75%
3C1D2T	735	545	26	720	15	2,03	19°C 89%
3C2D1T	705	660	6	700	5	2,80	23°C 72%
3C2D3T	690	220	68	455	235	2,60	23°C 75%

Continuação Tabela 13: Resultados Slump Flow e Anel-J.

Traço	Slump (mm)			Anel J (mm)		T500 (s)	Temperatura (°C)
	15 minutos	30 minutos	15 minutos	Espalhamento	Diferença	15 minutos	Umidade Relativa (%)
3C2D2T	705	475	33	690	15	2,00	15°C 97%
3C3D1T	705	660	6	700	5	2,13	15°C 90%
3C3D3T	670	355	47	595	75	2,22	19°C 81%H
3C3D2T	640	535	16	610	30	2,88	19°C 81%H
3C4D1T	710	460	35	675	35	1,94	19°C 73%
3C4D3T	675	320	53	510	165	1,96	23°C 71%
3C4D2T	700	430	39	650	50	1,94	16°C 83%

PERDA DE MASSA E TAXA DE EVAPORAÇÃO

Tabela 24: Resultados perda de massa e taxa de evaporação.

Traço	Perda de massa (%)	Taxa de evaporação (kg/m ² h)
1C0D	-0,830	0,041
1C1D1T	-0,696	0,034
1C1D3T	-0,640	0,031
1C1D2T	-0,655	0,048
1C2D1T	-0,517	0,028
1C2D3T	-0,439	0,022
1C2D2T	-0,698	0,049
1C3D1T	-0,730	0,012
1C3D3T	-0,809	0,013
1C3D2T	-0,744	0,012
1C4D1T	-0,436	0,005
1C4D3T	-0,525	0,007
1C4D2T	-0,776	0,011
2C0D	-0,790	0,006
2C1D1T	-0,825	0,008
2C1D3T	-1,230	0,010
2C1D2T	-0,839	0,007
2C2D1T	-0,851	0,008
2C2D3T	-0,360	0,003
2C2D2T	-0,794	0,008
2C3D1T	-1,253	0,010
2C3D3T	-0,418	0,004
2C3D2T	-0,989	0,008
2C4D1T	-1,256	0,010
2C4D3T	-1,085	0,010

Continuação Tabela 24: Resultados perda de massa e taxa de evaporação.

Traço	Perda de massa (%)	Taxa de evaporação (kg/m ² h)
2C4D2T	-1,181	0,012
3C0D	-0,833	0,022
3C1D1T	-0,607	0,017
3C1D3T	-0,986	0,025
3C1D2T	-0,446	0,012
3C2D1T	-0,889	0,013
3C2D3T	-0,836	0,021
3C2D2T	-0,545	0,013
3C3D1T	-0,574	0,013
3C3D3T	-1,181	0,028
3C3D2T	-0,817	0,020
3C4D1T	-0,658	0,015
3C4D3T	-0,659	0,017
3C4D2T	-0,596	0,014

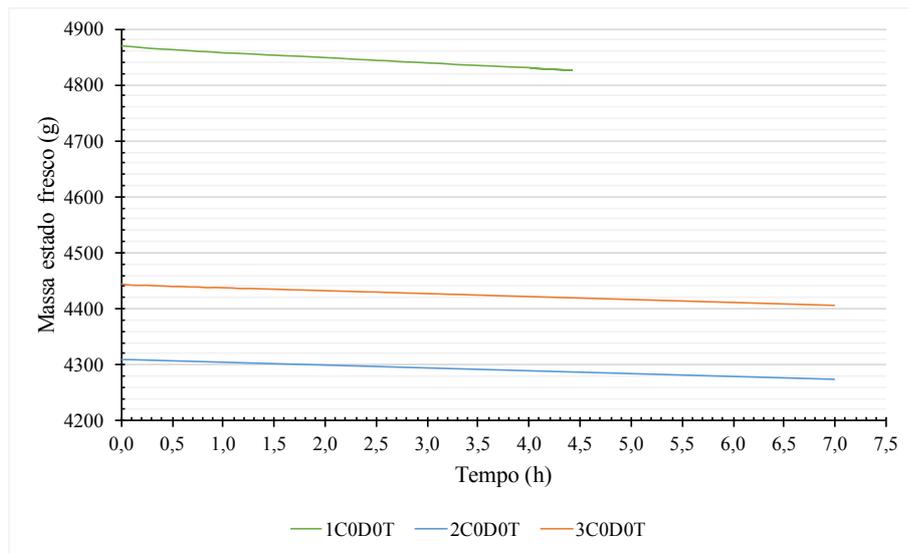


Figura 94: Perda de massa no estado fresco ao longo do tempo diferentes cimentos.

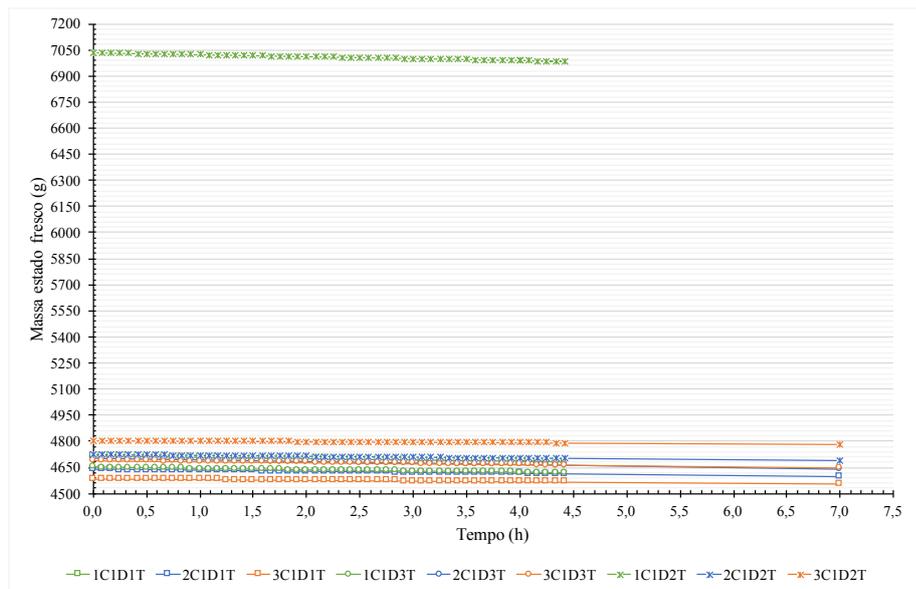


Figura 95: Perda de massa no estado fresco ao longo do tempo redutor de retração (SRA).

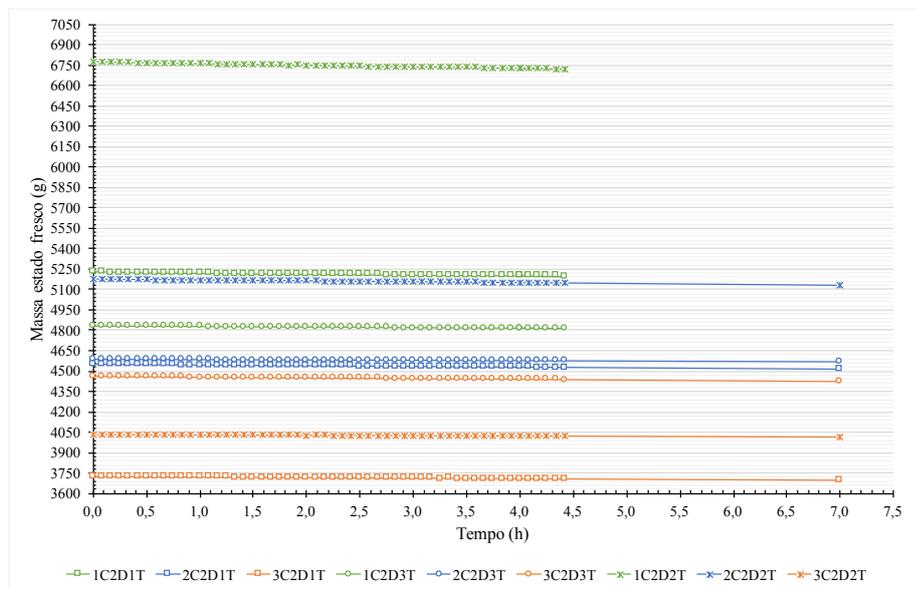


Figura 96: Perda de massa no estado fresco ao longo do tempo compensador de retração (CSA).

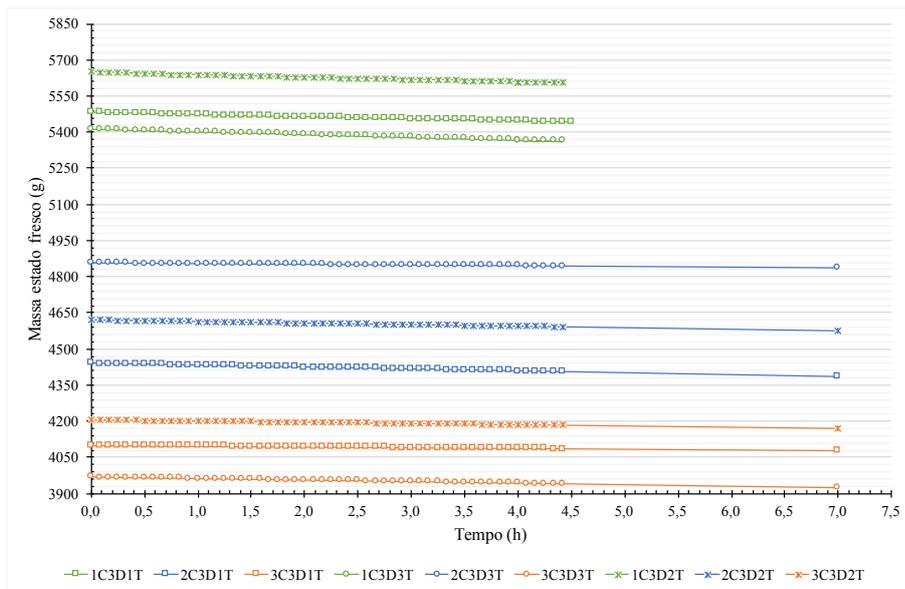


Figura 97: Perda de massa no estado fresco ao longo do tempo fibra polimérica (FP).

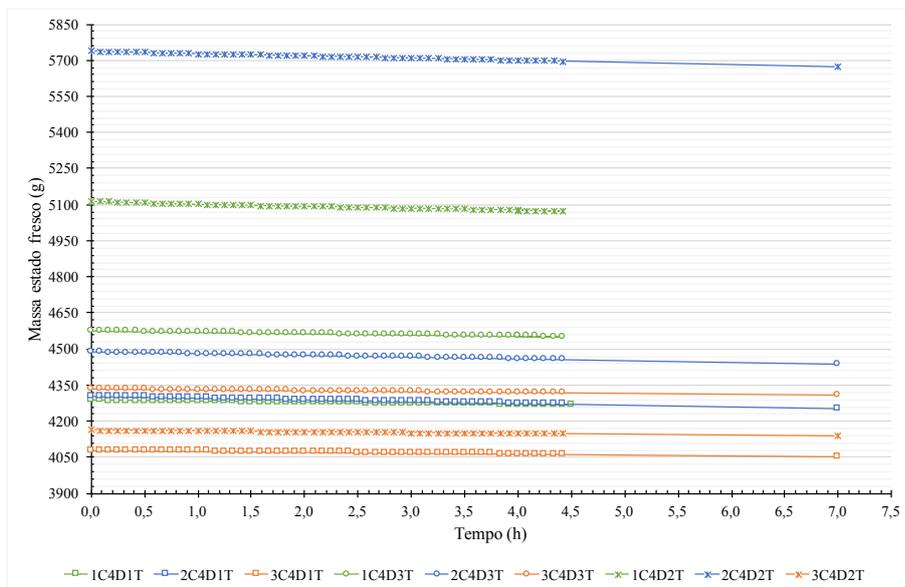


Figura 98: Perda de massa no estado fresco ao longo do tempo polímero superabsorvente (SAP).

APÊNDICE B RESULTADOS ENSAIOS ENDURECIDO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE

Tabela 25: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C0D0T.

7 DIAS				28 DIAS					
Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		
CP 1	3002,00	7853,98	37,48	-	CP 7	3786,00	7853,98	47,27	-
CP 2	3280,00	7697,69	41,79	-	CP 8	3680,00	7853,98	45,95	-
CP 3	3044,00	7853,98	38,01	-	CP 9	2602,00	7853,98	32,49	-
CP 4	-	7853,98	-	35,94	CP 10	-	7853,98	-	35,58
CP 5	-	7853,98	-	35,53	CP 11	-	7853,98	-	32,23
CP 6	-	7853,98	-	31,05	CP 12	-	7853,98	-	36,91
MÉDIA		39,09	34,17	MÉDIA		46,61	34,91		
DESVIO PADRÃO		2,35	2,71	DESVIO PADRÃO		0,94	2,41		
CV (%)		6,00	7,94	CV (%)		2,01	6,91		

Tabela 26: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C1D1T.

7 DIAS				28 DIAS					
Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		
CP 1	2769,00	7853,98	34,57	-	CP 7	3886,00	7697,69	49,51	-
CP 2	3354,00	7697,69	42,73	-	CP 8	3717,00	7853,98	46,41	-
CP 3	3438,00	7697,69	43,80	-	CP 9	3504,00	7697,69	44,64	-
CP 4	-	7697,69	-	31,64	CP 10	-	7853,98	-	34,14
CP 5	-	7697,69	-	28,18	CP 11	-	7697,69	-	37,90
CP 6	-	7697,69	-	30,75	CP 12	-	7853,98	-	38,93
MÉDIA		43,26	30,19	MÉDIA		46,85	36,99		
DESVIO PADRÃO		0,76	1,80	DESVIO PADRÃO		2,46	2,52		
CV (%)		1,75	5,95	CV (%)		5,26	6,82		

Tabela 27: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C1D3T.

7 DIAS				28 DIAS					
Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		
CP 1	4175,00	7853,98	52,13	-	CP 7	4731,00	7853,98	59,07	-
CP 2	3776,00	7697,69	48,11	-	CP 8	4359,00	7697,69	55,53	-
CP 3	3810,00	7697,69	48,54	-	CP 9	4329,00	7697,69	55,15	-
CP 4	-	7542,96	-	35,01	CP 10	-	7853,98	-	35,01

CP 5	-	7697,69	-	25,51	CP 11	-	7542,96	-	32,30
CP 6	-	7697,69	-	32,91	CP 12	-	7542,96	-	30,47
MÉDIA			49,59	31,14	MÉDIA			56,59	32,59
DESVIO PADRÃO			2,21	4,99	DESVIO PADRÃO			2,16	2,28
CV (%)			4,45	16,02	CV (%)			3,82	7,01

Tabela 28: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C1D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3697,00	8011,85	45,25	-	CP 7	4449,00	7853,98	55,55	-
CP 2	4186,00	7853,98	52,27	-	CP 8	4137,00	7853,98	51,66	-
CP 3	3566,00	7697,69	45,43	-	CP 9	4402,00	7853,98	54,96	-
CP 4	-	7697,69	-	37,67	CP 10	-	7697,69	-	30,70
CP 5	-	7697,69	-	30,28	CP 11	-	7697,69	-	40,07
CP 6	-	7853,98	-	33,30	CP 12	-	7853,98	-	34,50
MÉDIA			45,34	31,79	MÉDIA			55,26	32,60
DESVIO PADRÃO			0,13	2,14	DESVIO PADRÃO			2,10	2,69
CV (%)			0,28	6,72	CV (%)			3,80	8,24

Tabela 29: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C2D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	4235,00	7853,98	52,88	-	CP 7	4580,00	7697,69	58,35	-
CP 2	4270,00	7697,69	54,40	-	CP 8	4457,00	7853,98	55,65	-
CP 3	-	7853,98	-	-	CP 9	4325,00	7697,69	55,10	-
CP 4	-	7697,69	-	37,80	CP 10	-	7697,69	-	37,40
CP 5	-	7697,69	-	27,79	CP 11	-	7542,96	-	43,95
CP 6	-	7697,69	-	35,32	CP 12	-	7697,69	-	44,44
MÉDIA			53,64	36,56	MÉDIA			56,37	44,20
DESVIO PADRÃO			1,07	1,75	DESVIO PADRÃO			1,74	3,93
CV (%)			2,00	4,80	CV (%)			3,08	8,89

Tabela 30: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C2D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	4440,00	7697,69	56,56	-	CP 7	5000,00	7853,98	62,43	-
CP 2	4434,00	7697,69	56,49	-	CP 8	4778,00	7697,69	60,87	-
CP 3	4347,00	7542,96	56,52	-	CP 9	5104,00	7697,69	65,02	-

CP 4	-	7542,96	-	31,63	CP 10	-	7697,69	-	39,83
CP 5	-	7697,69	-	23,90	CP 11	-	7542,96	-	34,47
CP 6	-	7697,69	-	25,80	CP 12	-	7542,96	-	34,16
MÉDIA			56,52	27,11	MÉDIA			62,78	36,15
DESVIO PADRÃO			0,04	4,03	DESVIO PADRÃO			2,10	3,19
CV (%)			0,07	14,86	CV (%)			3,34	8,82

Tabela 31: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C2D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3002,00	7853,98	37,48	-	CP 7	3189,00	7697,69	40,63	-
CP 2	3272,00	7853,98	40,85	-	CP 8	3606,00	7853,98	45,03	-
CP 3	3368,00	7697,69	42,91	-	CP 9	3002,00	7697,69	38,24	-
CP 4	-	7697,69	-	33,55	CP 10	-	8011,85	-	43,19
CP 5	-	7697,69	-	32,10	CP 11	-	7697,69	-	46,76
CP 6	-	7697,69	-	30,96	CP 12	-	7697,69	-	44,44
MÉDIA			41,88	32,20	MÉDIA			42,83	44,80
DESVIO PADRÃO			2,74	1,30	DESVIO PADRÃO			3,11	1,81
CV (%)			6,54	4,03	CV (%)			7,26	4,04

Tabela 32: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C3D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3177,00	7853,98	39,67	-	CP 7	4375,00	8011,85	53,55	-
CP 2	2722,00	7697,69	34,68	-	CP 8	4188,00	7853,98	52,29	-
CP 3	2430,00	7853,98	30,34	-	CP 9	4515,00	7853,98	56,38	-
CP 4	-	7853,98	-	31,73	CP 10	-	7697,69	-	36,02
CP 5	-	7697,69	-	31,74	CP 11	-	7853,98	-	34,10
CP 6	-	7697,69	-	40,81	CP 12	-	7853,98	-	32,26
MÉDIA			32,51	31,74	MÉDIA			54,07	34,13
DESVIO PADRÃO			3,07	5,24	DESVIO PADRÃO			2,09	1,88
CV (%)			9,43	16,51	CV (%)			3,87	5,51

Tabela 33: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C3D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3753,00	7853,98	46,86	-	CP 7	4096,00	8011,85	50,14	-
CP 2	3840,00	7853,98	47,95	-	CP 8	4247,00	7853,98	53,03	-

CP 3	-	7853,98	-	-	CP 9	4213,00	7697,69	53,67	-
CP 4	-	7853,98	-	29,05	CP 10	-	7853,98	-	29,06
CP 5	-	7853,98	-	22,68	CP 11	-	7697,69	-	28,22
CP 6	-	7853,98	-	21,79	CP 12	-	7853,98	-	-
MÉDIA			47,40	24,51	MÉDIA			52,28	28,64
DESVIO PADRÃO			0,77	3,96	DESVIO PADRÃO			1,88	0,59
CV (%)			1,62	16,16	CV (%)			3,60	2,07

Tabela 34: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C3D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3510,00	7853,98	43,83	-	CP 7	3854,00	7853,98	48,12	-
CP 2	2965,00	7853,98	37,02	-	CP 8	3217,00	7697,69	40,98	-
CP 3	3456,00	7853,98	43,15	-	CP 9	3825,00	7853,98	47,76	-
CP 4	-	7697,69	-	24,55	CP 10	-	7697,69	-	31,30
CP 5	-	7697,69	-	23,82	CP 11	-	7853,98	-	37,60
CP 6	-	8011,85	-	24,97	CP 12	-	7853,98	-	29,43
MÉDIA			43,49	24,45	MÉDIA			47,94	30,37
DESVIO PADRÃO			3,75	0,58	DESVIO PADRÃO			0,26	1,32
CV (%)			8,62	2,38	CV (%)			0,53	4,35

Tabela 35: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C4D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3584,00	7853,98	44,75	-	CP 7	3671,00	7853,98	45,84	-
CP 2	3665,00	7853,98	45,76	-	CP 8	4184,00	7853,98	52,24	-
CP 3	3613,00	8171,28	43,36	-	CP 9	3554,00	7853,98	44,38	-
CP 4	-	7853,98	-	24,95	CP 10	-	7697,69	-	33,23
CP 5	-	7853,98	-	27,59	CP 11	-	7853,98	-	35,71
CP 6	-	7853,98	-	23,46	CP 12	-	7853,98	-	-
MÉDIA			44,62	25,33	MÉDIA			45,11	34,47
DESVIO PADRÃO			1,21	2,09	DESVIO PADRÃO			4,18	1,75
CV (%)			2,70	8,26	CV (%)			9,28	5,09

Tabela 36: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C4D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3286,00	7697,69	41,86	-	CP 7	4289,00	7853,98	53,55	-
CP 2	3135,00	7853,98	39,14	-	CP 8	3543,00	7697,69	45,14	-
CP 3	3415,00	7853,98	42,64	-	CP 9	4359,00	7853,98	54,43	-
CP 4	-	8011,85	-	25,32	CP 10	-	7853,98	-	35,85
CP 5	-	7853,98	-	35,76	CP 11	-	7853,98	-	27,51
CP 6	-	7853,98	-	28,24	CP 12	-	7853,98	-	37,88
MÉDIA			41,22	26,78	MÉDIA			53,99	36,87
DESVIO PADRÃO			1,84	5,39	DESVIO PADRÃO			5,13	1,44
CV (%)			4,45	20,11	CV (%)			9,50	3,89

Tabela 37: Resistência e módulo de elasticidade mistura 1C4D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3371,00	7697,69	42,95	-	CP 7	3299,00	8011,85	40,38	-
CP 2	3565,00	7853,98	44,51	-	CP 8	3942,00	7853,98	49,22	-
CP 3	3630,00	7853,98	45,32	-	CP 9	3969,00	7853,98	49,56	-
CP 4	-	7853,98	-	46,35	CP 10	-	7853,98	-	41,68
CP 5	-	7542,96	-	31,42	CP 11	-	7853,98	-	36,61
CP 6	-	7853,98	-	31,58	CP 12	-	7853,98	-	36,56
MÉDIA			44,26	31,50	MÉDIA			49,39	36,59
DESVIO PADRÃO			1,21	0,11	DESVIO PADRÃO			0,24	0,04
CV (%)			2,73	0,36	CV (%)			0,48	0,10

Tabela 38: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C0D0T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2498,00	7853,98	31,19	-	CP 7	2858,00	8011,85	34,98	-
CP 2	2454,00	7853,98	30,64	-	CP 8	2749,00	7853,98	34,32	-
CP 3	2411,00	7853,98	30,10	-	CP 9	2750,00	7853,98	34,34	-
CP 4	-	7853,98	-	21,55	CP 10	-	7853,98	-	29,40
CP 5	-	7853,98	-	23,75	CP 11	-	7853,98	-	20,67
CP 6	-	7853,98	-	28,90	CP 12	-	7853,98	-	26,80
MÉDIA			30,65	22,65	MÉDIA			34,55	25,62
DESVIO PADRÃO			0,54	3,77	DESVIO PADRÃO			0,38	4,48
CV (%)			1,77	16,66	CV (%)			1,09	17,49

Tabela 39: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C1D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3036,00	7853,98	37,91	-	CP 7	3518,00	7853,98	43,93	-
CP 2	2816,00	7853,98	35,16	-	CP 8	3501,00	7853,98	43,71	-
CP 3	2948,00	7853,98	36,81	-	CP 9	3442,00	7697,69	43,85	-
CP 4	-	7853,98	-	32,68	CP 10	-	7853,98	-	33,25
CP 5	-	7853,98	-	24,51	CP 11	-	7853,98	-	32,69
CP 6	-	7853,98	-	29,19	CP 12	-	7853,98	-	36,69
MÉDIA			36,63	26,85	MÉDIA			43,83	34,21
DESVIO PADRÃO			1,38	4,10	DESVIO PADRÃO			0,11	2,17
CV (%)			3,77	15,27	CV (%)			0,25	6,33

Tabela 40: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C1D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2941,00	7853,98	36,72	-	CP 7	3269,00	7853,98	40,82	-
CP 2	2734,00	7853,98	34,14	-	CP 8	3216,00	7853,98	40,16	-
CP 3	2637,00	7853,98	32,93	-	CP 9	3044,00	7853,98	38,01	-
CP 4	-	7853,98	-	28,34	CP 10	-	7853,98	-	32,76
CP 5	-	7853,98	-	23,60	CP 11	-	7853,98	-	31,12
CP 6	-	7853,98	-	25,76	CP 12	-	7853,98	-	35,38
MÉDIA			34,60	25,90	MÉDIA			39,66	33,09
DESVIO PADRÃO			1,94	2,37	DESVIO PADRÃO			1,47	2,15
CV (%)			5,60	9,16	CV (%)			3,70	6,49

Tabela 41: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C1D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2902,00	7853,98	36,23	-	CP 7	3519,00	7853,98	43,94	-
CP 2	3110,00	7853,98	38,83	-	CP 8	3419,00	7853,98	42,69	-
CP 3	2909,00	7853,98	36,32	-	CP 9	3549,00	7853,98	44,31	-
CP 4	-	7853,98	-	27,51	CP 10	-	7853,98	-	45,19
CP 5	-	7853,98	-	33,57	CP 11	-	7853,98	-	37,37
CP 6	-	7853,98	-	35,83	CP 12	-	7853,98	-	25,47
MÉDIA			37,13	34,70	MÉDIA			43,65	36,01
DESVIO PADRÃO			1,47	4,30	DESVIO PADRÃO			0,85	9,93
CV (%)			3,97	12,40	CV (%)			1,95	27,58

Tabela 42: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C2D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2816,00	7853,98	35,16	-	CP 7	3496,00	7853,98	43,65	-
CP 2	2982,00	7853,98	37,23	-	CP 8	3607,00	7853,98	45,04	-
CP 3	2893,00	7853,98	36,12	-	CP 9	3385,00	7853,98	42,27	-
CP 4	-	7853,98	-	31,61	CP 10	-	7853,98	-	39,84
CP 5	-	7853,98	-	33,64	CP 11	-	7853,98	-	38,64
CP 6	-	7853,98	-	44,43	CP 12	-	7853,98	-	36,45
MÉDIA			36,17	36,56	MÉDIA			43,65	38,31
DESVIO PADRÃO			1,04	6,89	DESVIO PADRÃO			1,39	1,72
CV (%)			2,87	18,85	CV (%)			3,18	4,49

Tabela 43: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C2D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2637,00	7853,98	32,93	-	CP 7	3117,00	7853,98	38,92	-
CP 2	2605,00	7853,98	32,53	-	CP 8	3292,00	7853,98	41,10	-
CP 3	2644,00	7853,98	33,01	-	CP 9	3345,00	7853,98	41,77	-
CP 4	-	7853,98	-	23,14	CP 10	-	7853,98	-	38,71
CP 5	-	7853,98	-	22,81	CP 11	-	7697,69	-	36,78
CP 6	-	7853,98	-	22,44	CP 12	-	7853,98	-	34,51
MÉDIA			32,82	22,80	MÉDIA			40,60	36,67
DESVIO PADRÃO			0,26	0,35	DESVIO PADRÃO			1,49	2,10
CV (%)			0,79	1,54	CV (%)			3,67	5,73

Tabela 44: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C2D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3135,00	7853,98	39,14	-	CP 7	3326,00	7853,98	41,53	-
CP 2	3193,00	7853,98	39,87	-	CP 8	3384,00	7853,98	42,25	-
CP 3	2902,00	7853,98	36,23	-	CP 9	3460,00	7853,98	43,20	-
CP 4	-	7853,98	-	26,58	CP 10	-	7697,69	-	38,57
CP 5	-	7853,98	-	23,67	CP 11	-	7853,98	-	33,67
CP 6	-	7853,98	-	27,21	CP 12	-	7853,98	-	37,99
MÉDIA			38,42	25,82	MÉDIA			42,33	36,74
DESVIO PADRÃO			1,92	1,89	DESVIO PADRÃO			0,84	2,68
CV (%)			5,01	7,31	CV (%)			1,98	7,29

Tabela 45: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C3D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2887,00	7853,98	36,05	-	CP 7	3350,00	7853,98	41,83	-
CP 2	2784,00	7853,98	34,76	-	CP 8	3200,00	7853,98	39,96	-
CP 3	2816,00	7853,98	35,16	-	CP 9	3193,00	7853,98	39,87	-
CP 4	-	7853,98	-	26,37	CP 10	-	7853,98	-	33,53
CP 5	-	7853,98	-	25,31	CP 11	-	7853,98	-	33,65
CP 6	-	7853,98	-	26,80	CP 12	-	7697,69	-	37,94
MÉDIA			35,32	26,16	MÉDIA			40,55	35,04
DESVIO PADRÃO			0,66	0,77	DESVIO PADRÃO			1,11	2,51
CV (%)			1,86	2,93	CV (%)			2,73	7,17

Tabela 46: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C3D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2880,00	7853,98	35,96	-	CP 7	3117,00	7853,98	38,92	-
CP 2	2851,00	7853,98	35,60	-	CP 8	3292,00	7853,98	41,10	-
CP 3	2959,00	7853,98	36,95	-	CP 9	3354,00	7853,98	41,88	-
CP 4	-	7853,98	-	23,14	CP 10	-	7853,98	-	32,29
CP 5	-	7853,98	-	22,81	CP 11	-	7853,98	-	32,08
CP 6	-	7853,98	-	22,44	CP 12	-	7853,98	-	31,91
MÉDIA			36,17	22,80	MÉDIA			40,63	32,09
DESVIO PADRÃO			0,70	0,35	DESVIO PADRÃO			1,53	0,19
CV (%)			1,93	1,54	CV (%)			3,78	0,59

Tabela 47: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C3D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2498,00	7853,98	31,19	-	CP 7	3356,00	7853,98	41,90	-
CP 2	2454,00	7853,98	30,64	-	CP 8	3288,00	8011,85	40,25	-
CP 3	2411,00	7853,98	30,10	-	CP 9	3217,00	7853,98	40,17	-
CP 4	-	7697,69	-	24,76	CP 10	-	7853,98	-	24,76
CP 5	-	7853,98	-	25,10	CP 11	-	7853,98	-	25,10
CP 6	-	7697,69	-	25,37	CP 12	-	7853,98	-	25,37
MÉDIA			30,65	25,08	MÉDIA			40,77	25,08
DESVIO PADRÃO			0,54	0,31	DESVIO PADRÃO			0,98	0,31
CV (%)			1,77	1,22	CV (%)			2,40	1,22

Tabela 48: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C4D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3023,00	7853,98	37,75	-	CP 7	3636,00	7853,98	45,40	-
CP 2	3169,00	7853,98	39,57	-	CP 8	3545,00	7853,98	44,26	-
CP 3	3000,00	7853,98	37,46	-	CP 9	3613,00	7853,98	45,11	-
CP 4	-	7853,98	-	33,06	CP 10	-	7853,98	-	36,55
CP 5	-	7853,98	-	33,51	CP 11	-	7853,98	-	34,69
CP 6	-	7853,98	-	33,94	CP 12	-	7853,98	-	36,75
MÉDIA			38,26	33,50	MÉDIA			44,93	36,00
DESVIO PADRÃO			1,14	0,44	DESVIO PADRÃO			0,59	1,14
CV (%)			2,99	1,31	CV (%)			1,32	3,16

Tabela 49: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C4D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3286,00	7853,98	41,03	-	CP 7	3653,00	7853,98	45,61	-
CP 2	3240,00	7853,98	40,46	-	CP 8	3562,00	7853,98	44,48	-
CP 3	3281,00	7853,98	40,97	-	CP 9	3560,00	7853,98	44,45	-
CP 4	-	7853,98	-	29,50	CP 10	-	7853,98	-	34,55
CP 5	-	7853,98	-	28,50	CP 11	-	7853,98	-	37,76
CP 6	-	7853,98	-	29,88	CP 12	-	7853,98	-	36,19
MÉDIA			40,82	29,29	MÉDIA			44,85	36,17
DESVIO PADRÃO			0,32	0,71	DESVIO PADRÃO			0,66	1,61
CV (%)			0,77	2,43	CV (%)			1,48	36,17

Tabela 50: Resistência e módulo de elasticidade mistura 2C4D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3422,00	7853,98	42,73	-	CP 7	3489,00	7853,98	43,56	-
CP 2	3310,00	7853,98	41,33	-	CP 8	3322,00	7853,98	41,48	-
CP 3	3478,00	7853,98	43,43	-	CP 9	3293,00	7853,98	41,12	-
CP 4	-	7853,98	-	26,24	CP 10	-	7853,98	-	35,97
CP 5	-	7853,98	-	26,03	CP 11	-	7853,98	-	36,74
CP 6	-	7853,98	-	27,58	CP 12	-	7853,98	-	38,62
MÉDIA			42,49	26,62	MÉDIA			42,05	37,11
DESVIO PADRÃO			1,07	0,84	DESVIO PADRÃO			1,32	1,36
CV (%)			2,51	3,16	CV (%)			3,14	3,67

Tabela 51: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C0D0T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2925,00	7853,98	36,52	-	CP 7	3939,00	7853,98	49,18	-
CP 2	2903,00	7853,98	36,25	-	CP 8	4009,00	7853,98	50,06	-
CP 3	2887,00	7853,98	36,05	-	CP 9	4029,00	7853,98	50,31	-
CP 4	-	7853,98	-	21,67	CP 10	-	7853,98	-	26,95
CP 5	-	7853,98	-	21,50	CP 11	-	7853,98	-	27,54
CP 6	-	7853,98	-	21,70	CP 12	-	7853,98	-	27,10
MÉDIA			36,27	21,62	MÉDIA			49,85	27,20
DESVIO PADRÃO			0,24	0,11	DESVIO PADRÃO			0,59	0,31
CV (%)			0,66	0,50	CV (%)			1,18	1,13

Tabela 52: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C1D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2960,00	7853,98	36,96	-	CP 7	4510,00	7853,98	56,31	-
CP 2	3024,00	7853,98	37,76	-	CP 8	4539,00	7853,98	56,67	-
CP 3	3094,00	7853,98	38,63	-	CP 9	4440,00	7853,98	55,44	-
CP 4	-	7853,98	-	34,64	CP 10	-	7853,98	-	26,95
CP 5	-	7853,98	-	34,74	CP 11	-	7853,98	-	27,02
CP 6	-	7853,98	-	32,65	CP 12	-	7853,98	-	27,88
MÉDIA			37,78	34,01	MÉDIA			56,14	27,28
DESVIO PADRÃO			0,84	1,18	DESVIO PADRÃO			0,64	0,52
CV (%)			2,21	3,47	CV (%)			1,13	1,90

Tabela 53: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C1D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2749,00	7853,98	34,32	-	CP 7	4585,00	7853,98	57,25	-
CP 2	2871,00	7853,98	35,85	-	CP 8	4469,00	7853,98	55,80	-
CP 3	2816,00	7697,69	35,88	-	CP 9	4574,00	7697,69	58,27	-
CP 4	-	7853,98	-	31,99	CP 10	-	7853,98	-	33,55
CP 5	-	7853,98	-	32,03	CP 11	-	7853,98	-	33,35
CP 6	-	7853,98	-	31,09	CP 12	-	7853,98	-	33,16
MÉDIA			35,35	31,70	MÉDIA			57,11	33,35
DESVIO PADRÃO			0,89	0,53	DESVIO PADRÃO			1,24	0,20
CV (%)			2,51	1,68	CV (%)			2,17	0,58

Tabela 54: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C1D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2686,00	7853,98	33,54	-	CP 7	3664,00	7853,98	45,75	-
CP 2	2762,00	7853,98	34,49	-	CP 8	3826,00	7853,98	47,77	-
CP 3	2685,00	7853,98	33,53	-	CP 9	3954,00	7853,98	49,37	-
CP 4	-	7853,98	-	23,96	CP 10	-	7853,98	-	25,19
CP 5	-	7853,98	-	24,97	CP 11	-	7853,98	-	27,02
CP 6	-	7853,98	-	24,96	CP 12	-	7853,98	-	26,88
MÉDIA			33,85	24,63	MÉDIA			47,63	26,36
DESVIO PADRÃO			0,55	0,58	DESVIO PADRÃO			1,81	1,02
CV (%)			1,63	2,36	CV (%)			3,81	3,86

Tabela 55: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C2D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2966,00	7853,98	37,03	-	CP 7	3791,00	7853,98	47,34	-
CP 2	2899,00	7853,98	36,20	-	CP 8	3678,00	7853,98	45,92	-
CP 3	2816,00	7853,98	35,16	-	CP 9	3651,00	7853,98	45,59	-
CP 4	-	7853,98	-	27,32	CP 10	-	7853,98	-	30,38
CP 5	-	7853,98	-	27,09	CP 11	-	7853,98	-	29,10
CP 6	-	7853,98	-	27,89	CP 12	-	7853,98	-	29,57
MÉDIA			36,13	27,43	MÉDIA			46,28	29,68
DESVIO PADRÃO			0,94	0,41	DESVIO PADRÃO			0,93	0,65
CV (%)			2,60	1,50	CV (%)			2,00	2,18

Tabela 56: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C2D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3607,00	7853,98	45,04	-	CP 7	4912,00	7853,98	61,33	-
CP 2	3549,00	7853,98	44,31	-	CP 8	5116,00	7853,98	63,88	-
CP 3	3572,00	7853,98	44,60	-	CP 9	5279,00	7853,98	65,91	-
CP 4	-	7853,98	-	26,07	CP 10	-	7853,98	-	25,44
CP 5	-	7853,98	-	25,23	CP 11	-	7853,98	-	26,51
CP 6	-	7853,98	-	26,44	CP 12	-	7697,69	-	26,08
MÉDIA			44,65	25,91	MÉDIA			63,71	26,01
DESVIO PADRÃO			0,36	0,62	DESVIO PADRÃO			2,30	0,54
CV (%)			0,82	2,39	CV (%)			3,60	2,07

Tabela 57: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C2D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3059,00	7853,98	38,20	-	CP 7	4137,00	7853,98	51,66	-
CP 2	2949,00	7697,69	37,57	-	CP 8	4257,00	7853,98	53,15	-
CP 3	2960,00	7853,98	36,96	-	CP 9	4219,00	7697,69	53,75	-
CP 4	-	7853,98	-	22,97	CP 10	-	7697,69	-	27,06
CP 5	-	7697,69	-	21,77	CP 11	-	7853,98	-	26,65
CP 6	-	7697,69	-	22,27	CP 12	-	7853,98	-	26,01
MÉDIA			37,57	22,34	MÉDIA			52,85	26,57
DESVIO PADRÃO			0,62	0,60	DESVIO PADRÃO			1,08	0,53
CV (%)			1,64	2,70	CV (%)			2,04	1,99

Tabela 58: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C3D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2645,00	7853,98	33,03	-	CP 7	3692,00	7853,98	46,10	-
CP 2	2576,00	7853,98	32,16	-	CP 8	3884,00	7853,98	48,50	-
CP 3	2664,00	7853,98	33,26	-	CP 9	3675,00	7853,98	45,89	-
CP 4	-	7853,98	-	24,67	CP 10	-	7853,98	-	35,70
CP 5	-	7853,98	-	23,01	CP 11	-	7853,98	-	33,63
CP 6	-	7853,98	-	20,48	CP 12	-	7853,98	-	34,17
MÉDIA			32,82	22,72	MÉDIA			46,83	34,50
DESVIO PADRÃO			0,58	2,11	DESVIO PADRÃO			1,45	1,07
CV (%)			1,76	9,29	CV (%)			3,09	3,11

Tabela 59: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C3D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3034,00	7853,98	37,88	-	CP 7	4195,00	7853,98	52,38	-
CP 2	2916,00	7853,98	36,41	-	CP 8	4213,00	7853,98	52,60	-
CP 3	2989,00	7853,98	37,32	-	CP 9	4282,00	7853,98	53,47	-
CP 4	-	7853,98	-	22,10	CP 10	-	7853,98	-	25,12
CP 5	-	7853,98	-	21,86	CP 11	-	7853,98	-	26,92
CP 6	-	7853,98	-	22,05	CP 12	-	7853,98	-	25,47
MÉDIA			37,20	22,00	MÉDIA			52,82	25,84
DESVIO PADRÃO			0,74	0,13	DESVIO PADRÃO			0,57	0,95
CV (%)			2,00	0,58	CV (%)			1,09	3,69

Tabela 60: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C3D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2909,00	7697,69	37,79	-	CP 7	3692,00	7853,98	46,10	-
CP 2	3006,00	7853,98	38,27	-	CP 8	3684,00	7853,98	46,00	-
CP 3	3070,00	8011,85	38,32	-	CP 9	3675,00	7697,69	46,82	-
CP 4	-	7853,98	-	21,71	CP 10	-	7853,98	-	32,39
CP 5	-	7853,98	-	21,01	CP 11	-	7853,98	-	31,31
CP 6	-	7853,98	-	20,35	CP 12	-	7697,69	-	32,22
MÉDIA			38,13	21,02	MÉDIA			46,31	31,97
DESVIO PADRÃO			0,29	0,68	DESVIO PADRÃO			0,45	0,58
CV (%)			0,77	3,23	CV (%)			0,97	1,82

Tabela 61: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C4D1T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	2616,00	7853,98	32,66	-	CP 7	3837,00	7853,98	47,91	-
CP 2	2748,00	7853,98	34,31	-	CP 8	3884,00	7853,98	48,50	-
CP 3	2603,00	7853,98	32,50	-	CP 9	3883,00	7853,98	48,48	-
CP 4	-	7853,98	-	24,87	CP 10	-	7853,98	-	27,69
CP 5	-	7853,98	-	23,87	CP 11	-	7853,98	-	27,43
CP 6	-	7853,98	-	24,19	CP 12	-	7853,98	-	27,12
MÉDIA			33,16	24,31	MÉDIA			48,30	27,41
DESVIO PADRÃO			1,00	0,51	DESVIO PADRÃO			0,34	0,29
CV (%)			3,02	2,10	CV (%)			0,69	1,04

Tabela 62: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C4D3T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3247,00	7853,98	40,54	-	CP 7	4125,00	7853,98	51,51	-
CP 2	3314,00	7853,98	41,38	-	CP 8	4120,00	7853,98	51,44	-
CP 3	3222,00	7853,98	40,23	-	CP 9	4036,00	7853,98	50,39	-
CP 4	-	7853,98	-	23,50	CP 10	-	7853,98	-	39,13
CP 5	-	7853,98	-	23,39	CP 11	-	7853,98	-	38,71
CP 6	-	7853,98	-	23,31	CP 12	-	7853,98	-	38,58
MÉDIA			40,72	23,40	MÉDIA			51,11	38,81
DESVIO PADRÃO			0,59	0,10	DESVIO PADRÃO			0,62	0,29
CV (%)			1,46	0,41	CV (%)			1,22	0,74

Tabela 63: Resistência e módulo de elasticidade mistura 3C4D2T.

7 DIAS					28 DIAS				
	Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)		Carga rupt. (ton.)	Área (mm ²)	Tensão (MPa)	Módulo (GPa)
CP 1	3316,00	7853,98	41,40	-	CP 7	4039,00	7853,98	50,43	-
CP 2	3152,00	7853,98	39,36	-	CP 8	4085,00	7853,98	51,01	-
CP 3	3247,00	7853,98	40,54	-	CP 9	4044,00	7853,98	50,49	-
CP 4	-	7853,98	-	26,09	CP 10	-	7853,98	-	27,43
CP 5	-	7853,98	-	26,88	CP 11	-	7853,98	-	27,13
CP 6	-	7853,98	-	26,76	CP 12	-	7853,98	-	27,12
MÉDIA			40,43	26,58	MÉDIA			50,64	27,23
DESVIO PADRÃO			1,03	0,43	DESVIO PADRÃO			0,32	0,18
CV (%)			2,54	1,60	CV (%)			0,62	0,65

APÊNDICE C RESULTADOS RETRAÇÃO

RETRAÇÃO E PERDA DE MASSA

Tabela 64: Resultado leituras retração mistura 1C0D0T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão			2,209	2,133	2,849	2,852
Autógena	1	0,242	2,458	2,438	3,122	3,040
Autógena	2	-1,101	1,101	1,014	1,749	1,660
Autógena	3	1,185	2,003	3,394	3,969	3,940
Hidráulica	4	-1,720	0,483	0,447	1,271	0,989
Hidráulica	5	-0,838	1,397	1,319	1,970	1,920
Hidráulica	6	0,240	2,477	2,426	3,040	3,032
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3656,7	3650,4	3641,2	3639,5	3636,6
Hidráulica	5	3490,2	3482,5	3603,9	3473,2	3470,7
Hidráulica	6	3616,8	3609,8	3476,1	3601,8	3599,0

Tabela 65: Resultado leituras retração mistura 1C1D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,202	2,133	2,881	2,901	2,884
Autógena	1	5,145	5,180	5,880	5,906	5,871
Autógena	2	3,939	3,966	4,682	4,684	4,680
Autógena	3	4,978	5,065	5,739	5,736	5,729
Hidráulica	4	2,245	2,282	2,981	2,962	2,948
Hidráulica	5	6,060	6,122	6,765	6,702	6,789
Hidráulica	6	1,006	1,003	1,995	1,731	1,698
Perda de Massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3749,1	3739,7	3735,4	3732,6	3732,3
Hidráulica	5	3791,1	3778,7	3775,6	3773,5	3773,8
Hidráulica	6	3782,8	3772,4	3766,8	3763,6	3763,6

Tabela 66: Resultado leituras retração mistura 1C1D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,852	2,826	2,854	2,961	2,743
Autógena	1	2,506	2,533	2,491	2,529	2,377
Autógena	2	3,300	3,512	3,463	3,509	3,234
Autógena	3	3,608	3,562	3,562	3,562	3,344
Hidráulica	4	4,248	4,338	4,255	4,318	4,157
Hidráulica	5	2,822	2,875	2,767	2,842	2,611
Hidráulica	6	2,813	2,819	2,745	2,801	2,606
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3722,2	3715,5	3706,7	3703,4	3666,5
Hidráulica	5	3911,7	3900,2	3893,2	3888,8	3851,5
Hidráulica	6	3876,5	3869,2	3859,4	3855,4	3818,5

Tabela 67: Resultado leituras retração mistura 1C1D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão					2,874	2,837
Autógena	1	0,749	0,668	0,657	3,589	3,577
Autógena	2	-0,062	-0,107	-0,137	2,764	2,659
Autógena	3	0,125	0,095	0,078	2,936	2,895
Hidráulica	4	-1,404	-1,362	-1,390	1,489	1,384
Hidráulica	5	0,324	0,310	0,239	3,107	3,075
Hidráulica	6	-1,456	-1,448	-1,495	1,367	1,314
Perda de Massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3775,0	3767,7	3752,4	3748,8	3744,7
Hidráulica	5	3850,8	3844,2	3829,6	3826,0	3833,0
Hidráulica	6	3725,2	3718,2	3704,1	3698,2	3693,8

Tabela 68: Resultado leituras retração mistura 1C2D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		6,004	2,898	2,849	2,918	2,852
Autógena	1	5,361	2,308	2,188	2,212	2,124
Autógena	2	8,038	4,793	4,745	4,749	4,686
Autógena	3	5,207	2,208	2,070	2,079	2,049
Hidráulica	4	6,475	3,429	3,298	3,378	3,263
Hidráulica	5	8,852	5,778	5,675	5,657	5,579

Hidráulica	6	4,786	2,756	1,641	1,669	1,577
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3531,7	3524,7	3518,3	3526,0	3514,7
Hidráulica	5	3651,5	3645,1	3640,4	3638,4	3636,9
Hidráulica	6	3571,7	3561,4	3556,2	3554,3	3552,6

Tabela 69: Resultado leituras retração mistura 1C2D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,852	2,826	2,856	2,920	2,816
Autógena	1	3,066	3,041	3,057	3,115	2,875
Autógena	2	1,485	1,419	1,463	1,428	1,248
Autógena	3	1,245	1,225	1,280	1,311	1,240
Hidráulica	4	0,983	0,958	0,936	0,870	0,933
Hidráulica	5	6,862	6,830	6,867	6,912	6,725
Hidráulica	6	1,734	1,766	1,706	1,814	1,592
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3871,3	3870,2	3864,8	3862,2	3826,0
Hidráulica	5	3946,0	3942,5	3936,5	3934,2	3898,0
Hidráulica	6	3818,2	3816,5	3810,3	3807,9	3772,5

Tabela 70: Resultado leituras retração mistura 1C2D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,201	2,133	2,898	2,895	2,890
Autógena	1	6,628	6,600	7,332	7,409	7,284
Autógena	2	5,531	5,457	6,238	6,220	6,221
Autógena	3	4,946	4,844	5,640	5,625	5,589
Hidráulica	4	4,519	4,509	5,260	5,244	5,248
Hidráulica	5	4,603	4,473	5,239	5,229	5,231
Hidráulica	6	0,949	0,853	1,616	1,597	1,588
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3644,9	3638,3	3635,5	3634,0	3635,2
Hidráulica	5	3680,6	3674,3	3671,3	3669,5	3671,1
Hidráulica	6	3723,2	3717,9	3715,3	3712,4	3713,2

Tabela 71: Resultado leituras retração mistura 1C3D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,837	2,876	2,834	2,774	2,674
Autógena	1	2,616	2,635	2,519	2,497	2,433
Autógena	2	1,413	1,421	1,418	1,105	1,213
Autógena	3	3,761	3,809	3,686	3,520	3,567
Hidráulica	4	3,401	3,396	3,408	3,077	3,193
Hidráulica	5	6,434	6,463	6,341	6,131	6,193
Hidráulica	6	1,606	1,654	1,598	1,255	1,378
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3741,2	3730,8	3723,7	3719,0	3716,5
Hidráulica	5	3789,9	3776,5	3772,5	3768,3	3765,9
Hidráulica	6	3759,1	3748,1	3742,9	3738,6	3735,7

Tabela 72: Resultado leituras retração mistura 1C3D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,834	2,890	2,852	2,678	2,688
Autógena	1	3,534	3,674	3,517	3,364	3,413
Autógena	2	1,734	1,838	1,689	2,280	1,553
Autógena	3	2,478	2,645	2,580	1,519	2,428
Hidráulica	4	3,474	3,569	3,453	1,498	3,262
Hidráulica	5	6,481	6,594	6,523	6,320	6,325
Hidráulica	6	1,829	1,845	1,755	3,206	1,576
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3621,2	3611,7	3599,8	3594,4	3559,0
Hidráulica	5	3893,7	3883,5	3874,3	3869,0	3851,5
Hidráulica	6	3730,6	3716,8	3707,6	3700,9	3666,0

Tabela 73: Resultado leituras retração mistura 1C3D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,131	2,201	6,004	2,881	2,834
Autógena	1	3,558	3,580	7,303	4,170	4,157
Autógena	2	3,302	3,265	7,076	3,966	3,910
Autógena	3	3,413	1,994	5,711	2,601	2,533
Hidráulica	4	1,015	0,939	4,752	1,572	1,516
Hidráulica	5	0,731	0,709	4,479	1,278	1,237

Hidráulica	6	0,964	0,914	4,618	1,477	1,422
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3655,3	3647,6	3642,3	3639,0	3638,2
Hidráulica	5	3733,1	3725,4	3721,7	3718,5	3717,9
Hidráulica	6	3800,7	3791,7	3787,0	3783,5	3782,2

Tabela 74: Resultado leituras retração mistura 1C4D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,846	2,834	2,862	2,915	2,690
Autógena	1	4,442	4,407	4,435	4,469	4,280
Autógena	2	2,205	2,157	2,151	2,194	1,986
Autógena	3	4,699	4,664	4,709	4,774	4,552
Hidráulica	4	4,062	4,021	4,009	4,028	3,857
Hidráulica	5	6,305	6,266	6,285	6,308	6,136
Hidráulica	6	1,776	1,765	1,750	1,761	1,060
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3592,7	3579,7	3573,3	3568,1	3528,5
Hidráulica	5	3687,5	3680,4	3673,8	3668,4	3626,5
Hidráulica	6	3792,4	3721,3	3714,4	3709,4	3668,0

Tabela 75: Resultado leituras retração mistura 1C4D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,846	2,834	2,871	2,900	2,694
Autógena	1	2,465	2,458	2,438	2,447	2,277
Autógena	2	3,438	3,423	3,349	3,403	3,156
Autógena	3	3,328	3,309	3,251	3,307	3,074
Hidráulica	4	3,355	3,310	3,294	3,365	3,153
Hidráulica	5	3,074	3,036	3,037	3,027	2,881
Hidráulica	6	3,070	2,983	3,007	3,025	2,808
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3506,3	3498,2	3492,2	3487,6	3448,5
Hidráulica	5	3489,9	3480,6	3475,4	3470,8	3432,0
Hidráulica	6	3483,7	3470,6	3464,7	3459,6	3422,5

Tabela 76: Resultado leituras retração mistura 1C4D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,209	2,202	2,874	2,905	2,826
Autógena	1	6,339	6,287	6,905	6,985	6,988
Autógena	2	4,035	3,938	4,781	4,731	4,739
Autógena	3	5,320	5,232	5,911	5,999	5,909
Hidráulica	4	1,360	1,337	2,038	2,038	1,975
Hidráulica	5	2,148	2,214	2,828	2,879	2,769
Hidráulica	6	1,081	1,079	1,675	1,880	1,638
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3635,3	3628,8	3625,0	3622,1	3621,1
Hidráulica	5	3717,2	3710,8	3708,1	3705,5	3704,5
Hidráulica	6	3656,7	3649,6	3647,0	3644,1	3643,0

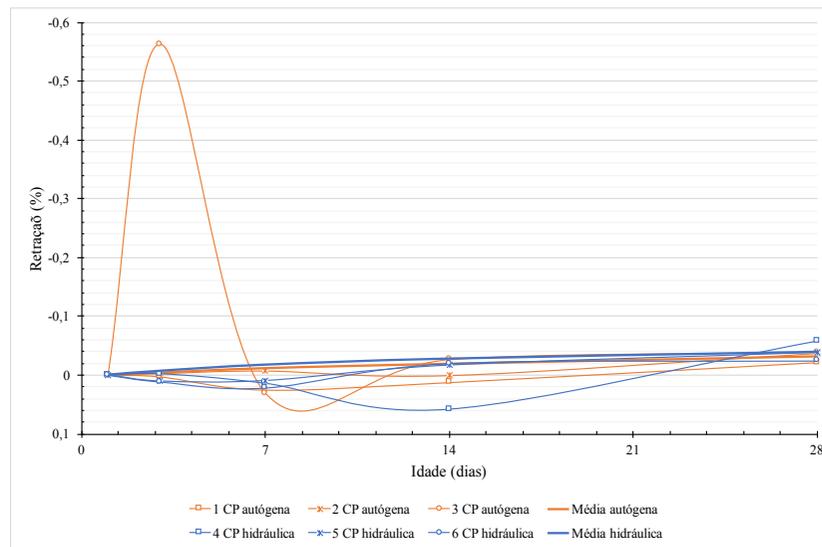


Figura 99: Retrações mistura 1C0D0T.

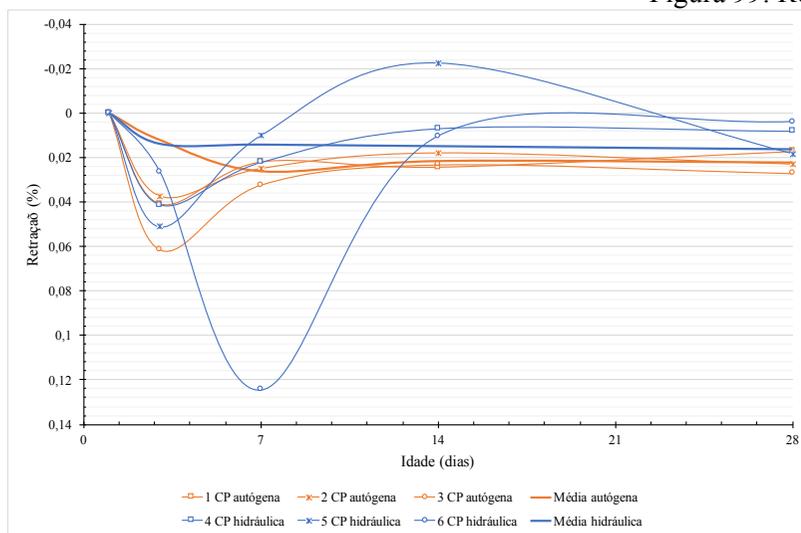


Figura 100: Retrações mistura 1C1D1T.

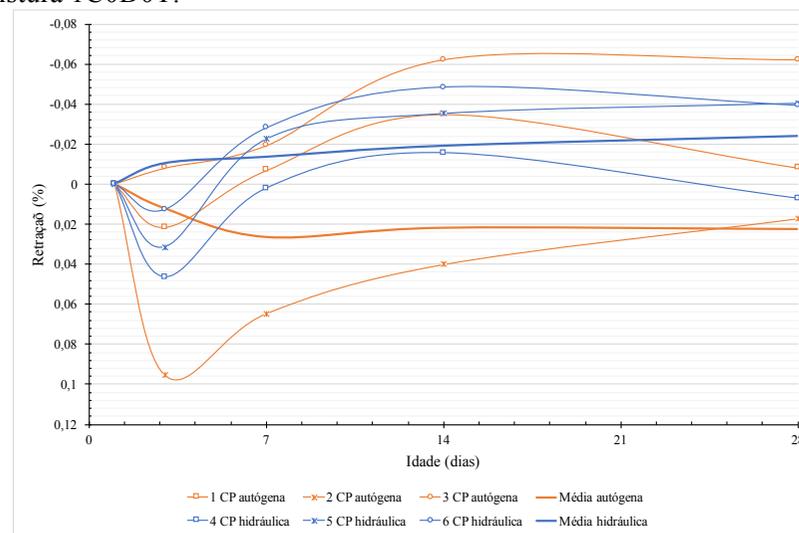


Figura 101: Retrações mistura 1C1D3T.

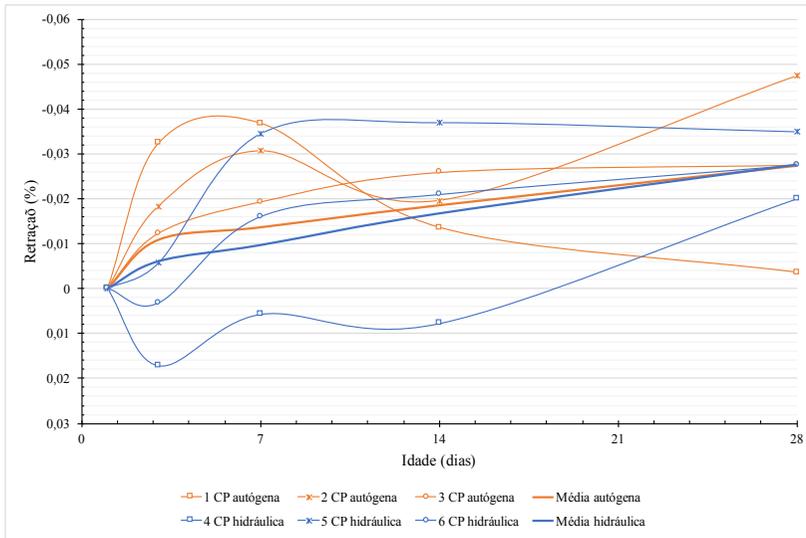


Figura 102: Retrações mistura 1C1D2T.

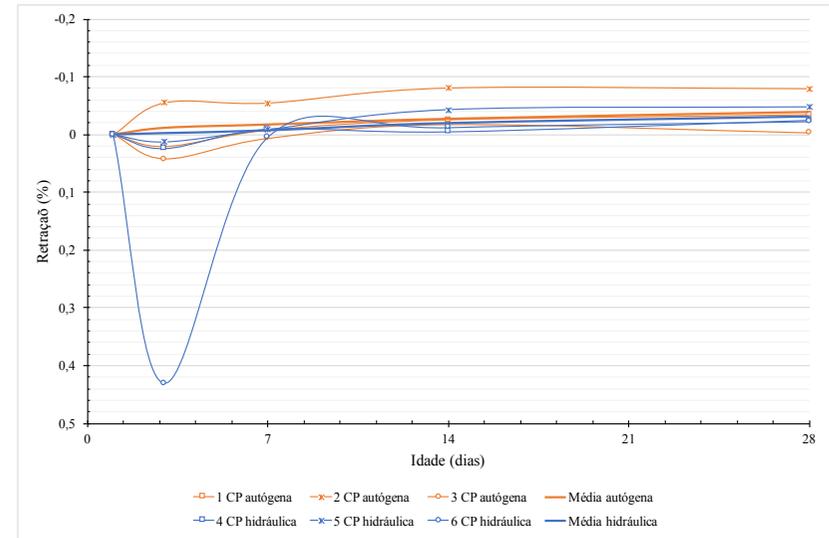


Figura 103: Retrações mistura 1C2D1T.

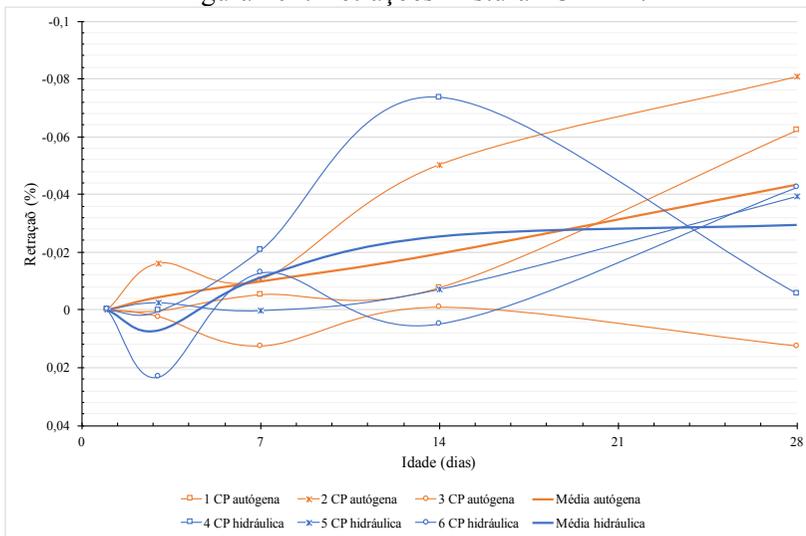


Figura 104: Retrações mistura 1C2D3T.

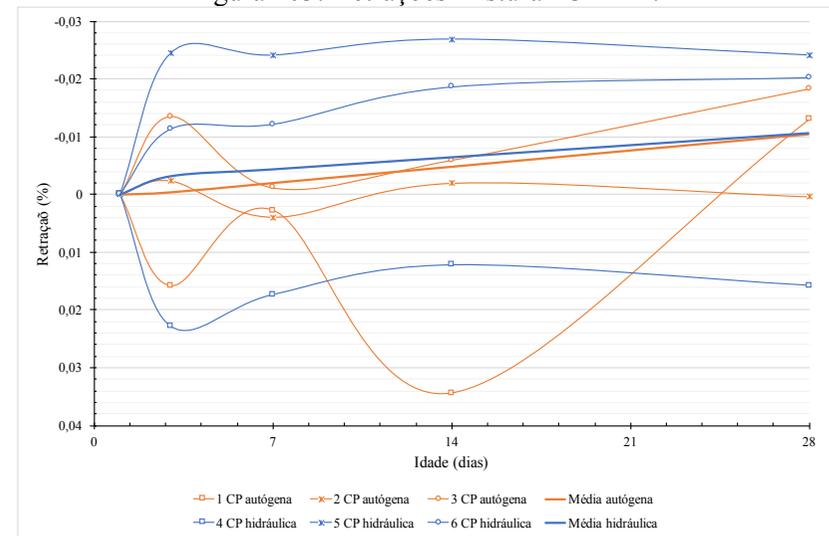


Figura 105: Retrações mistura 1C2D2T.

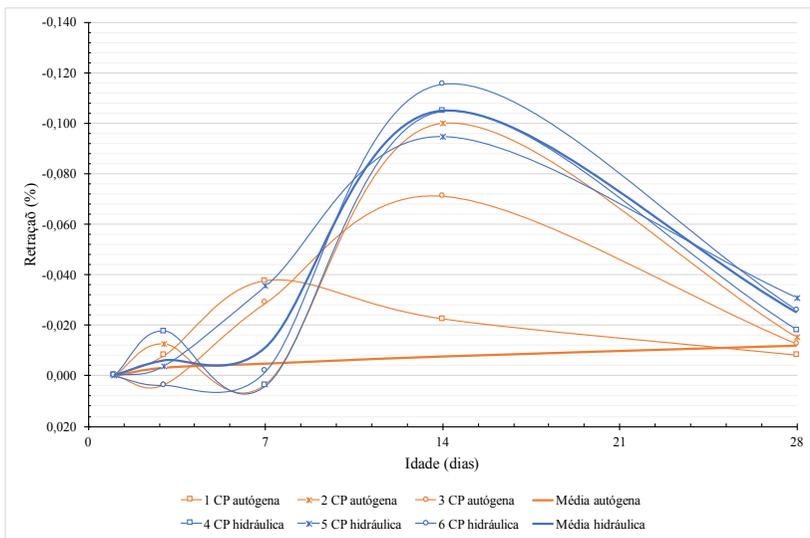


Figura 106: Retrações mistura 1C3D1T.

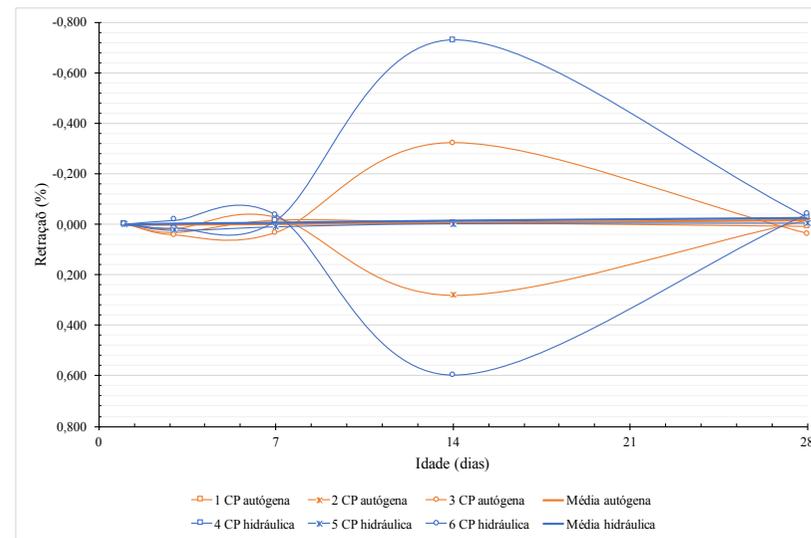


Figura 107: Retrações mistura 1C3D3T.

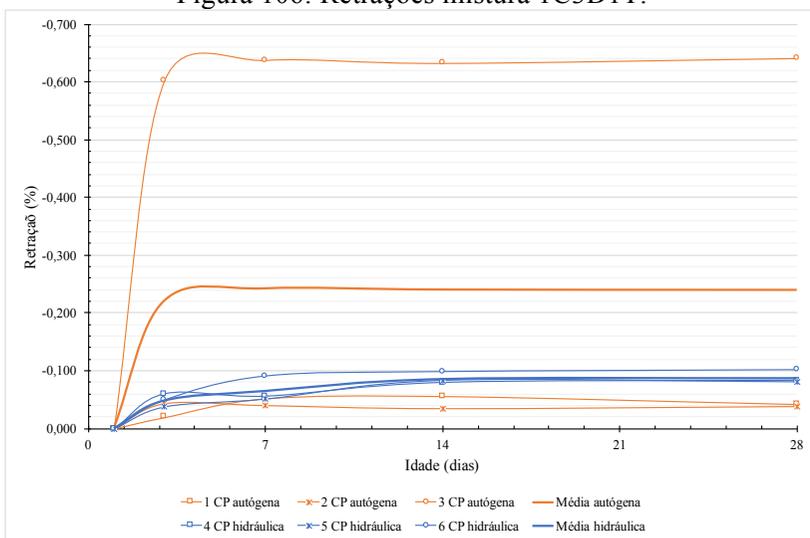


Figura 108: Retrações mistura 1C3D2T.

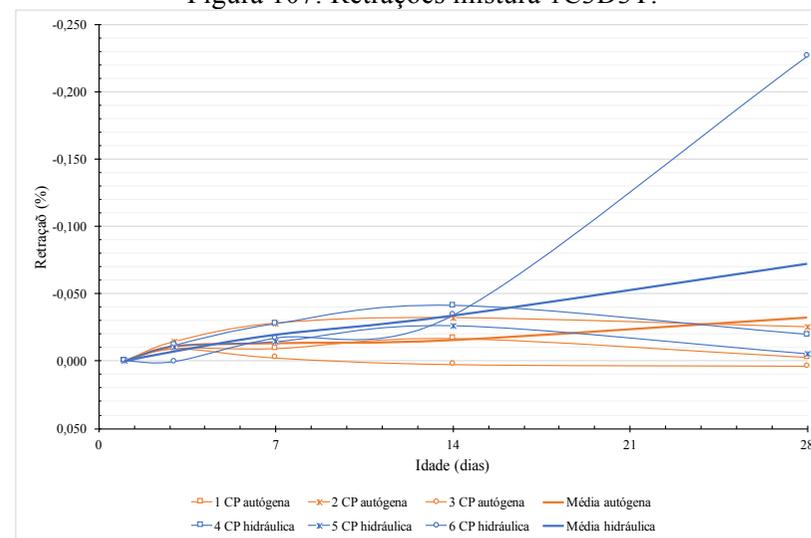


Figura 109: Retrações mistura 1C4D1T.

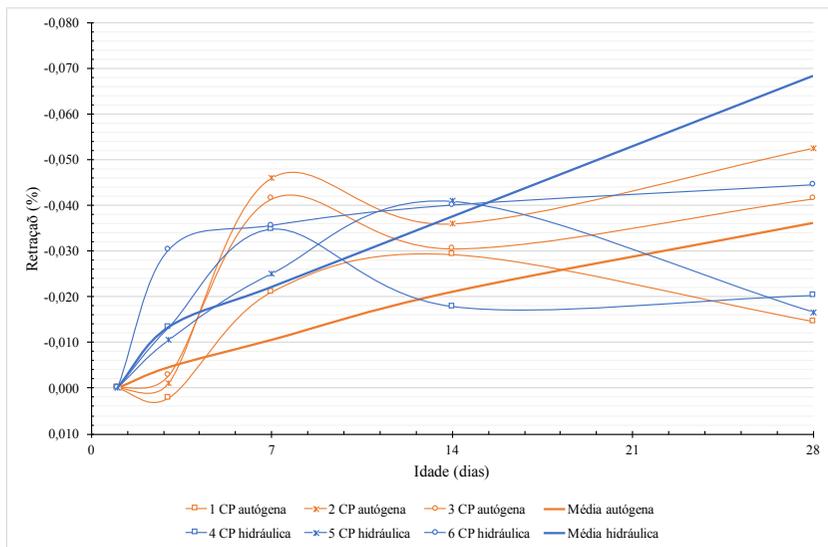


Figura 110: Retrações mistura 1C4D3T.

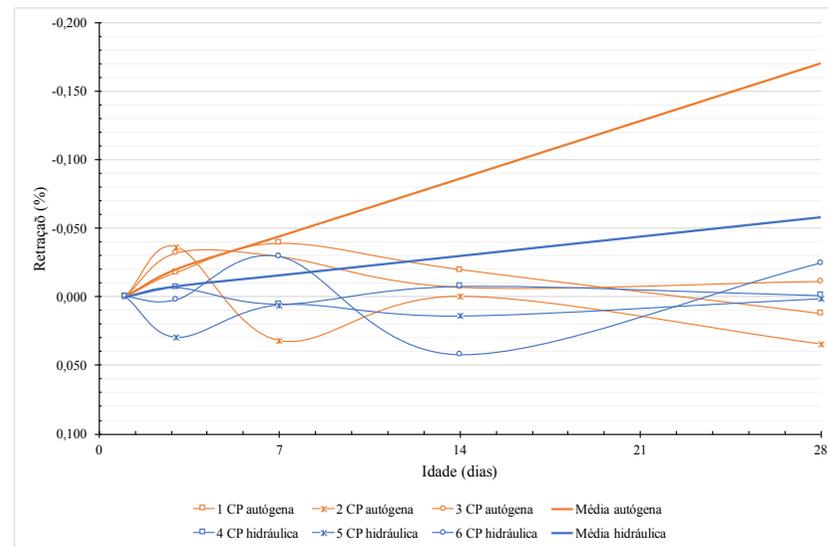


Figura 111: Retrações mistura 1C4D2T.

Tabela 77: Resultado leituras retração mistura 2C0D0T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,868	2,567	2,917	2,675	2,701
Autógena	1	1,554	1,326	1,588	1,411	1,420
Autógena	2	1,551	1,284	1,596	1,372	1,401
Autógena	3	2,174	1,941	2,235	2,029	2,063
Hidráulica	4	2,672	2,443	2,768	2,455	2,458
Hidráulica	5	2,479	2,237	2,527	2,294	2,335
Hidráulica	6	1,862	1,586	1,903	1,660	1,654
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3659,3	3646,1	3633,9	3628,6	3527,5
Hidráulica	5	3741,2	3725,7	3712,8	3708,9	3609,0
Hidráulica	6	3658,3	3646,5	3633,8	3629,4	3529,5

Tabela 78: Resultado leituras retração mistura 2C1D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,836	2,642	2,774	2,671	2,701
Autógena	1	3,322	3,083	3,188	3,145	3,219
Autógena	2	1,549	1,336	1,349	1,336	1,378
Autógena	3	2,525	2,282	2,315	2,371	2,359
Hidráulica	4	1,704	1,508	1,464	1,473	1,463
Hidráulica	5	2,971	2,738	2,741	2,807	2,796
Hidráulica	6	1,650	1,409	1,479	1,496	1,479
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Autógena	1	3943,2	3942,0	3936,9	3935,2	3875,5
Autógena	2	3860,3	3858,8	3854,4	3851,9	3793,5
Autógena	3	3914,0	3912,6	3907,8	3906,1	3845,5
Hidráulica	4	3820,9	3807,1	3787,0	3782,8	3725,0
Hidráulica	5	3865,7	3853,5	3834,8	3827,7	3770,5
Hidráulica	6	3869,4	3851,7	3829,6	3825,9	3767,0

Tabela 79: Resultado leituras retração mistura 2C1D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,683	2,665	2,669	2,766	2,866
Autógena	1	2,296	2,274	2,294	2,308	2,303

Autógena	2	3,129	3,073	3,081	3,125	3,296
Autógena	3	2,614	2,612	2,572	2,685	2,646
Hidráulica	4	3,934	3,940	3,930	3,903	3,914
Hidráulica	5	2,604	2,598	2,551	2,629	2,635
Hidráulica	6	3,970	3,971	3,958	3,956	3,982
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3795,6	3778,8	3762,1	3724,0	3706,5
Hidráulica	5	3928,5	3906,0	3894,9	3855,5	3837,5
Hidráulica	6	3896,9	3880,1	3838,4	3824,0	3805,5

Tabela 80: Resultado leituras retração mistura 2C1D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,635	2,668	2,673	2,714	2,720
Autógena	1	2,805	1,531	3,303	4,042	2,864
Autógena	2	2,097	1,269	2,054	2,095	2,036
Autógena	3	4,019	3,874	4,016	3,353	4,072
Hidráulica	4	0,750	0,803	0,826	0,828	0,790
Hidráulica	5	1,816	1,822	0,780	1,832	1,863
Hidráulica	6	1,478	1,513	1,509	1,527	1,515
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3855,3	3830,9	3824,1	3783,0	3768,5
Hidráulica	5	3873,8	3848,9	3848,3	3806,5	3791,5
Hidráulica	6	3937,4	3919,9	3913,4	3869,0	3854,5

Tabela 81: Resultado leituras retração mistura 2C2D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,703	2,677	2,705	2,742	2,712
Autógena	1	1,763	1,757	1,769	1,777	1,775
Autógena	2	0,985	1,016	1,054	1,032	1,024
Autógena	3	2,217	2,232	2,284	2,273	2,148
Hidráulica	4	0,935	0,887	0,946	0,932	0,303
Hidráulica	5	1,373	1,375	1,402	1,378	1,406
Hidráulica	6	1,527	1,534	1,573	1,546	1,518
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3650,7	3633,3	3602,0	3589,5	3573,5
Hidráulica	5	3909,3	3895,1	3858,5	3845,0	3828,0

Hidráulica	6	3896,8	3879,5	3846,5	3834,0	3817,5
-------------------	---	--------	--------	--------	--------	--------

Tabela 82: Resultado leituras retração mistura 2C2D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,668	2,677	2,689	2,698	2,716
Autógena	1	3,289	1,575	1,636	1,551	1,613
Autógena	2	2,036	1,310	1,338	1,339	1,333
Autógena	3	3,883	3,908	3,953	3,937	3,971
Hidráulica	4	1,005	1,073	1,124	1,072	1,109
Hidráulica	5	1,897	1,878	1,894	1,860	1,830
Hidráulica	6	1,585	1,681	1,687	1,664	1,651
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3820,2	3796,2	3789,4	3749,0	3732,5
Hidráulica	5	3824,7	3808,0	3785,2	3753,0	3738,0
Hidráulica	6	3769,6	3754,5	3732,2	3703,5	3684,0

Tabela 83: Resultado leituras retração mistura 2C2D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,628	2,900	2,680	2,720	2,721
Autógena	1	1,076	1,395	1,176	1,183	1,243
Autógena	2	1,326	1,604	1,415	1,504	1,453
Autógena	3	1,768	2,078	1,878	1,909	1,916
Hidráulica	4	2,638	2,922	2,681	2,688	2,687
Hidráulica	5	4,947	5,239	4,953	4,970	5,052
Hidráulica	6	1,535	1,743	1,546	1,645	1,610
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3872,0	3847,9	3835,3	3807,5	3774,5
Hidráulica	5	3775,8	3759,8	3748,6	3720,0	3686,5
Hidráulica	6	3767,0	3750,9	3738,9	3709,5	3677,5

Tabela 84: Resultado leituras retração mistura 2C3D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,496	2,950	2,620	2,733	2,701
Autógena	1	2,110	2,565	2,232	2,355	2,306
Autógena	2	2,520	2,970	2,622	2,760	2,711
Autógena	3	2,739	3,183	2,868	2,960	2,942

Hidráulica	4	4,538	4,994	4,649	4,754	4,679
Hidráulica	5	1,548	1,991	1,663	1,749	1,715
Hidráulica	6	2,466	2,917	2,554	2,689	2,638
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3683,0	3667,4	3651,9	3623,5	3591,5
Hidráulica	5	3838,8	3815,1	3805,8	3777,5	3744,5
Hidráulica	6	3865,2	3849,1	3835,9	3806,0	3772,5

Tabela 85: Resultado leituras retração mistura 2C3D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,673	2,720	2,740	2,711	2,720
Autógena	1	1,811	1,817	1,891	1,898	1,856
Autógena	2	2,330	2,390	2,408	2,322	2,372
Autógena	3	1,546	1,620	1,584	1,549	1,531
Hidráulica	4	1,598	1,652	1,665	1,644	1,605
Hidráulica	5	2,704	2,750	2,740	2,725	2,711
Hidráulica	6	2,966	3,019	3,056	2,960	2,987
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3597,2	3580,0	3548,0	3533,5	3517,5
Hidráulica	5	3763,3	3744,7	3713,0	3694,0	3677,5
Hidráulica	6	3763,5	3740,8	3706,0	3692,5	3676,5

Tabela 86: Resultado leituras retração mistura 2C3D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,935	2,685	2,985	2,773	2,909
Autógena	1	3,083	2,869	3,166	2,946	2,982
Autógena	2	2,832	2,596	2,846	2,578	2,631
Autógena	3	4,887	4,628	4,936	4,731	4,743
Hidráulica	4	5,512	5,268	5,517	5,283	5,359
Hidráulica	5	2,776	2,526	2,778	2,526	2,605
Hidráulica	6	2,820	2,561	2,829	2,617	2,613
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3630,8	3612,5	3597,7	3593,5	3499,0
Hidráulica	5	3690,8	3678,5	3664,8	3657,4	3561,5
Hidráulica	6	3643,2	3651,1	3638,0	3631,6	3536,0

Tabela 87: Resultado leituras retração mistura 2C4D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,948	2,610	2,800	2,711	2,720
Autógena	1	1,438	1,127	1,266	1,149	1,106
Autógena	2	1,425	1,147	1,259	1,195	1,122
Autógena	3	2,881	2,503	2,693	2,556	2,613
Hidráulica	4	1,207	0,908	1,102	0,948	0,926
Hidráulica	5	3,648	3,344	3,486	3,339	3,387
Hidráulica	6	1,933	1,620	1,781	1,698	1,653
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3787,2	3762,7	3758,8	3713,0	3707,0
Hidráulica	5	3815,2	3780,7	3758,1	3713,0	3704,0
Hidráulica	6	3777,7	3778,8	3775,0	3748,0	3737,0

Tabela 88: Resultado leituras retração mistura 2C4D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,873	2,667	2,673	2,679	2,701
Autógena	1	2,442	2,204	2,225	2,228	2,221
Autógena	2	2,958	2,743	2,711	2,716	2,746
Autógena	3	5,021	4,785	4,788	4,789	4,779
Hidráulica	4	5,765	5,502	5,528	5,538	5,511
Hidráulica	5	2,013	1,773	1,765	1,772	1,788
Hidráulica	6	3,438	3,210	3,213	3,179	3,183
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3749,5	3730,0	3711,5	3709,0	3652,0
Hidráulica	5	3750,2	3736,6	3721,0	3717,1	3659,5
Hidráulica	6	3831,7	3817,8	3804,6	3797,9	3739,5

Tabela 89: Resultado leituras retração mistura 2C4D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,896	2,669	2,700	2,706	2,720
Autógena	1	2,379	2,118	2,143	2,131	2,051
Autógena	2	4,208	3,965	3,987	3,972	3,980
Autógena	3	3,001	2,754	2,788	2,768	2,763
Hidráulica	4	3,228	2,958	2,953	2,975	3,023
Hidráulica	5	1,348	1,157	1,129	1,185	1,141

Hidráulica	6	5,501	5,190	5,310	5,201	5,039
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3798,8	3782,0	3772,9	3729,5	3720,0
Hidráulica	5	3818,7	3802,0	3796,3	3751,5	3739,5
Hidráulica	6	3889,4	3863,7	3859,5	3812,5	3802,5

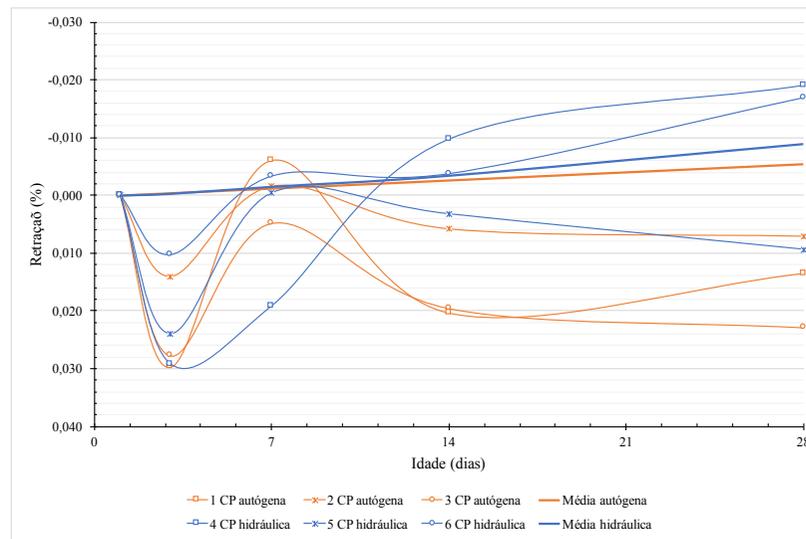


Figura 112: Retrações mistura 2C0D0T.

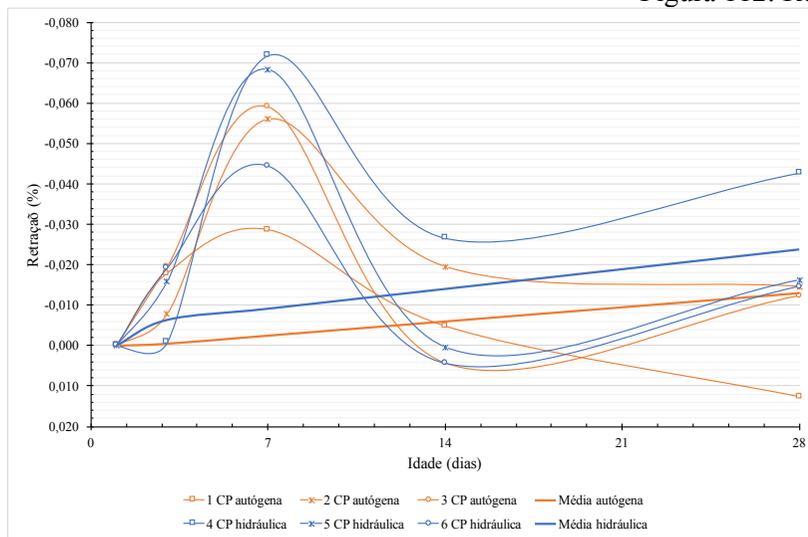


Figura 113: Retrações mistura 2C1D1T.

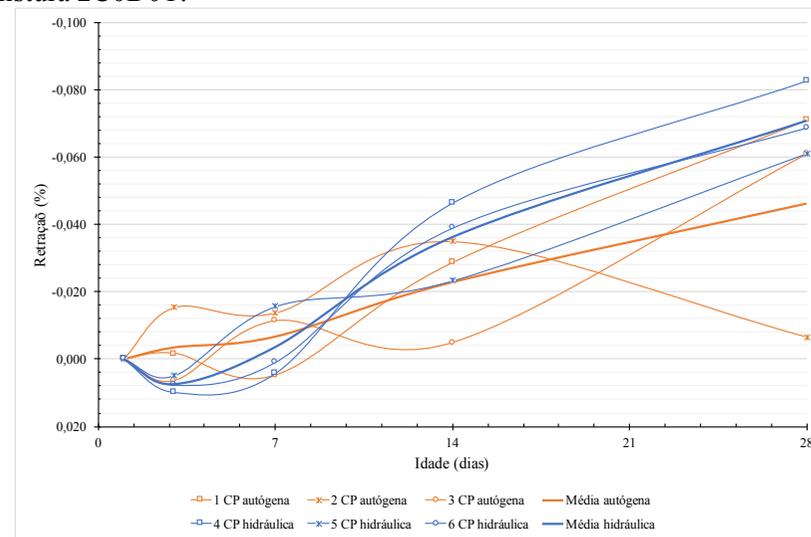


Figura 114: Retrações mistura 2C1D3T.

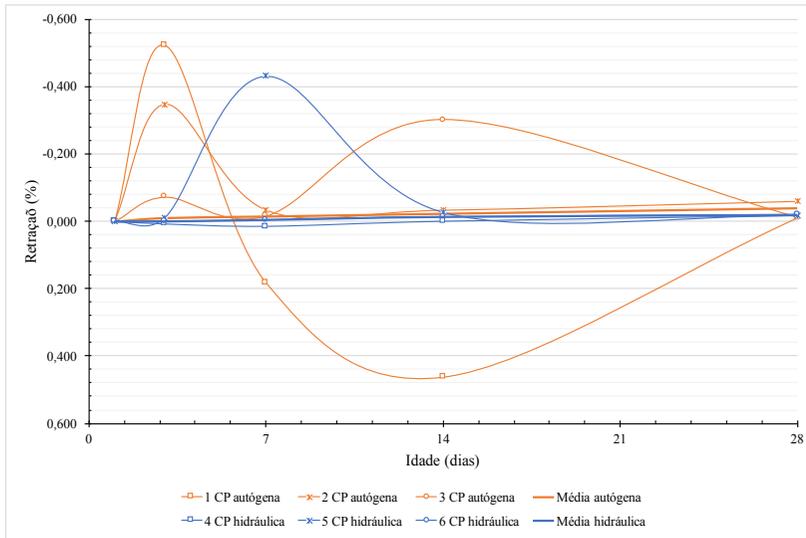


Figura 115: Retrações mistura 2C1D2T.

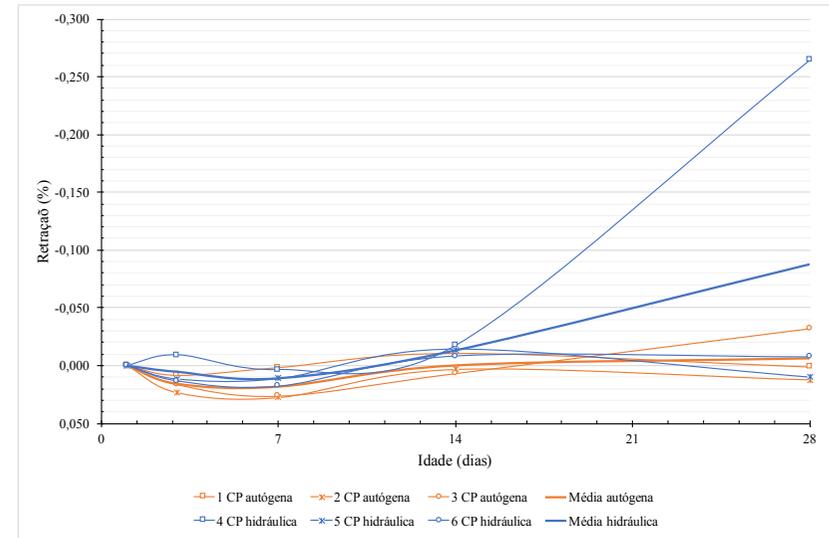


Figura 116: Retrações mistura 2C2D1T.

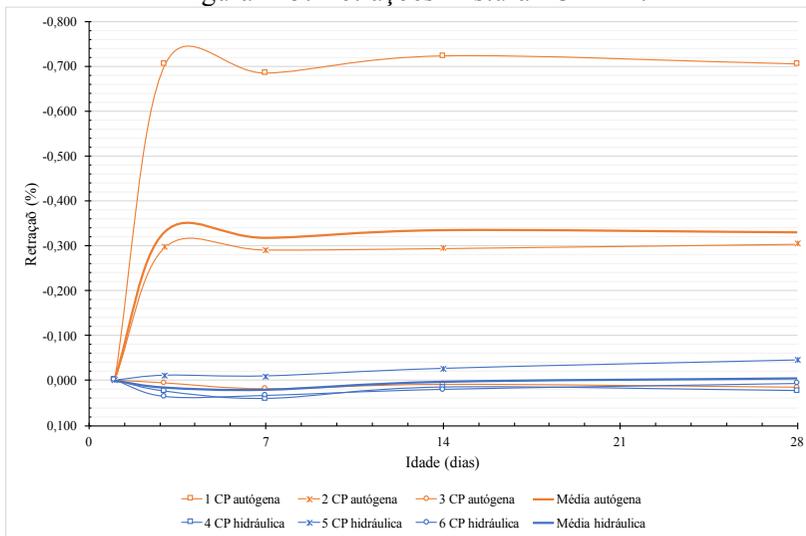


Figura 117: Retrações mistura 2C2D3T.

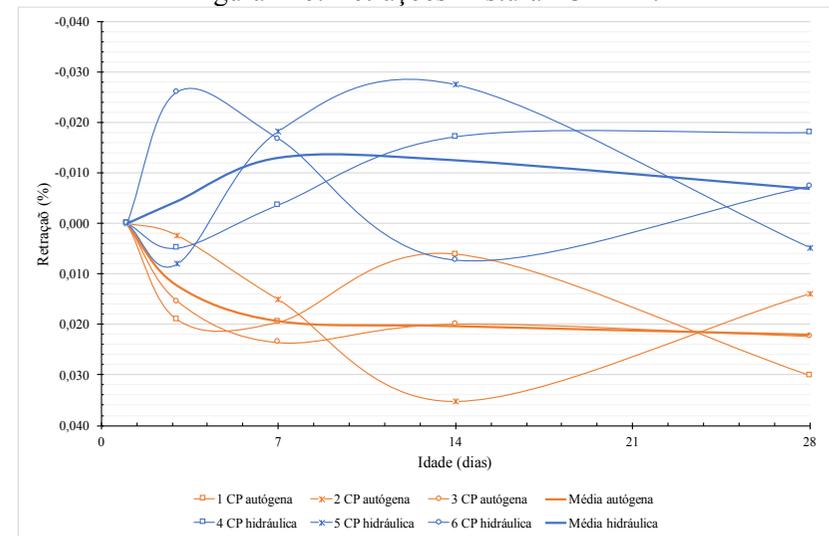


Figura 118: Retrações mistura 2C2D2T.

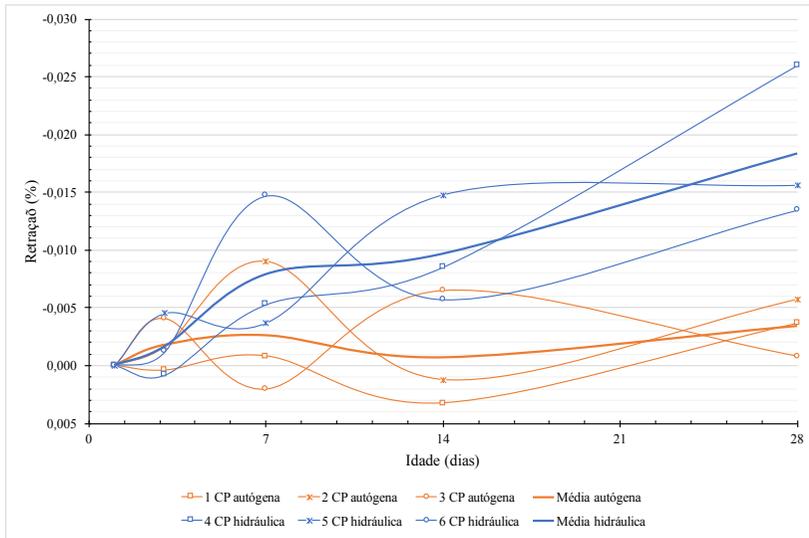


Figura 119: Retrações mistura 2C3D1T.

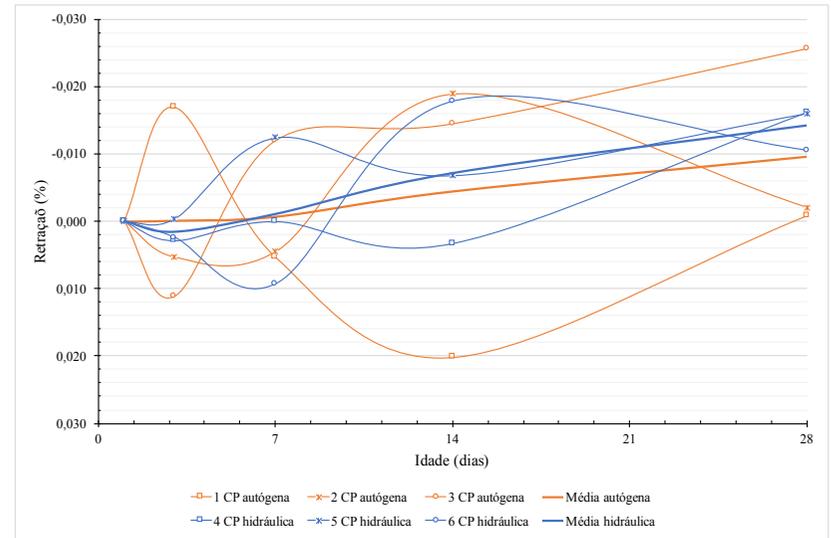


Figura 120: Retrações mistura 2C3D3T.

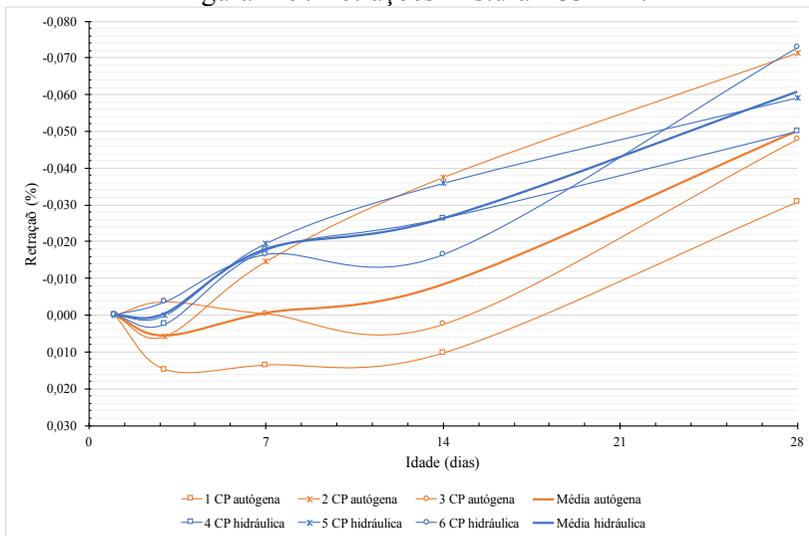


Figura 121: Retrações mistura 2C3D2T.

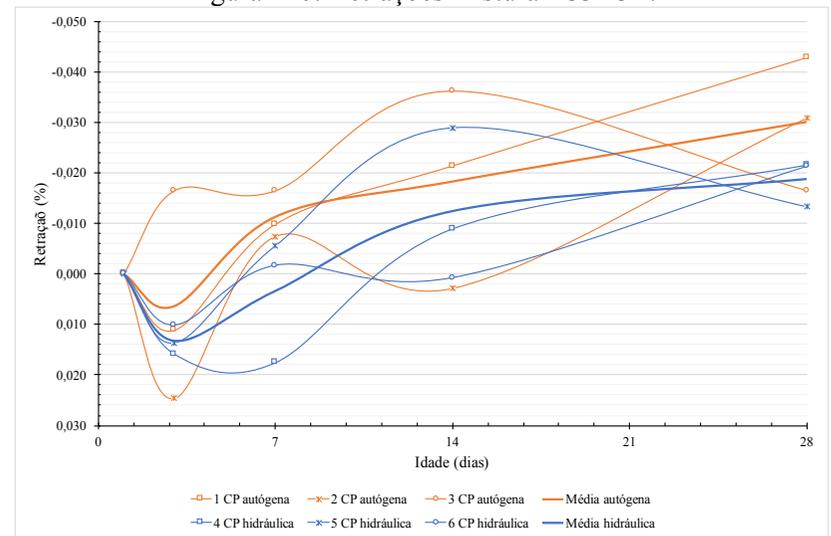


Figura 122: Retrações mistura 2C4D1T.

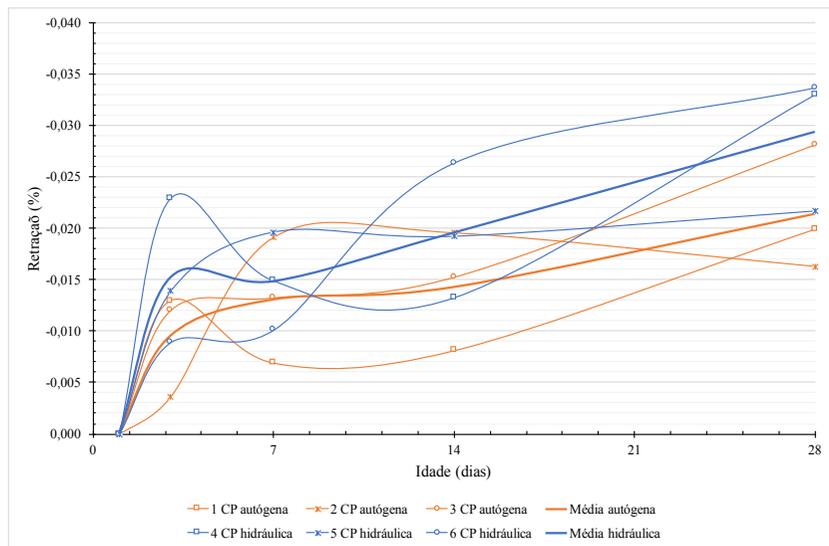


Figura 123: Retrações mistura 2C4D3T.

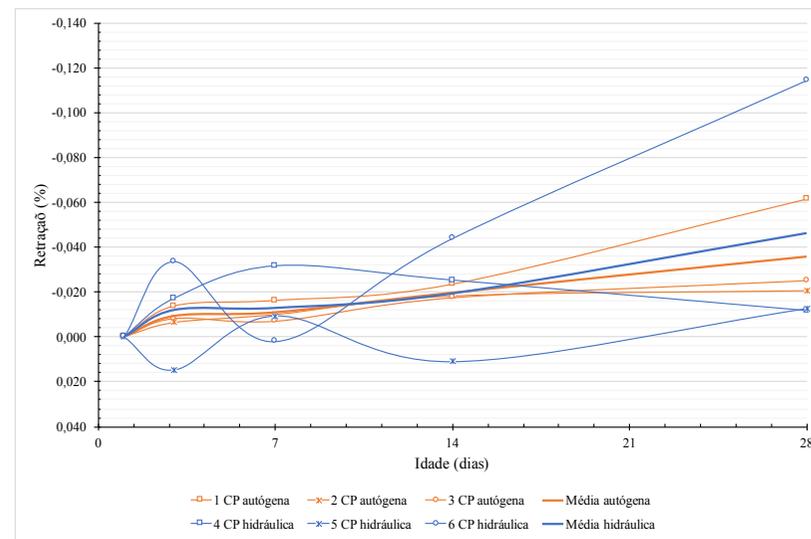


Figura 124: Retrações mistura 2C4D2T.

Tabela 90: Resultado leituras retração mistura 3C0D0T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,685	2,699	2,710	2,698	2,715
Autógena	1	0,738	0,605	0,612	0,548	0,517
Autógena	2	0,843	0,714	0,788	0,572	0,561
Autógena	3	0,983	0,998	0,929	0,969	0,951
Hidráulica	4	0,938	0,958	0,889	0,942	0,905
Hidráulica	5	2,146	2,118	2,112	2,038	2,053
Hidráulica	6	1,691	1,629	1,706	1,656	1,654
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3723,6	3721,6	3680,5	3669,5	3617,5
Hidráulica	5	3656,6	3645,9	3607,5	3596,5	3546,0
Hidráulica	6	3942,1	3938,9	3891,5	3880,0	3826,0

Tabela 91: Resultado leituras retração mistura 3C1D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,713	2,713	2,698	2,720	2,738
Autógena	1	0,796	0,798	0,772	0,813	0,800
Autógena	2	0,248	0,248	0,200	0,203	0,251
Autógena	3	1,743	1,743	1,768	1,756	1,759
Hidráulica	4	1,078	1,078	1,001	1,018	0,988
Hidráulica	5	3,738	3,738	3,726	3,742	3,754
Hidráulica	6	1,731	1,731	1,718	1,701	1,683
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3863,5	3863,5	3861,5	3839,0	3819,0
Hidráulica	5	3939,5	3939,5	3936,5	3914,5	3894,0
Hidráulica	6	3936,0	3936,0	3932,0	3909,5	3888,0

Tabela 92: Resultado leituras retração mistura 3C1D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,703	2,703	2,698	2,720	2,738
Autógena	1	2,273	2,243	2,221	2,223	2,219
Autógena	2	3,560	3,545	3,529	3,589	3,557
Autógena	3	2,938	2,930	2,905	2,881	2,897
Hidráulica	4	2,240	2,258	2,213	2,212	2,152
Hidráulica	5	3,398	3,353	3,279	3,278	3,202

Hidráulica	6	2,613	2,616	2,532	2,596	2,597
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3785,5	3781,5	3770,5	3755,5	3732,5
Hidráulica	5	3982,0	3974,0	3970,0	3947,0	3923,5
Hidráulica	6	3924,5	3914,5	3878,5	3884,0	3861,5

Tabela 93: Resultado leituras retração mistura 3C1D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,675	2,809	2,708	2,702	2,715
Autógena	1	0,865	0,940	0,857	0,832	0,837
Autógena	2	0,499	0,572	0,498	0,473	0,451
Autógena	3	1,635	1,625	1,548	1,622	1,035
Hidráulica	4	0,962	1,065	0,904	0,960	0,953
Hidráulica	5	3,998	3,989	3,655	2,469	2,450
Hidráulica	6	1,578	1,701	1,601	1,594	1,588
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3952,9	3912,0	3885,0	3883,0	3864,0
Hidráulica	5	3931,2	3892,5	3883,0	3862,0	3842,0
Hidráulica	6	3943,9	3908,5	3900,0	3873,0	3855,0

Tabela 94: Resultado leituras retração mistura 3C2D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,661	2,809	2,708	2,702	2,715
Autógena	1	1,849	1,969	1,834	1,802	1,799
Autógena	2	2,696	2,802	2,712	2,684	2,665
Autógena	3	2,375	2,492	2,418	2,388	2,385
Hidráulica	4	4,650	4,693	4,568	4,506	4,534
Hidráulica	5	2,612	2,722	2,623	2,620	2,612
Hidráulica	6	2,948	3,044	2,887	2,930	2,922
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3697,5	3665,5	3648,0	3637,0	3620,5
Hidráulica	5	3737,0	3703,5	3682,0	3673,5	3657,5
Hidráulica	6	3856,1	3817,5	3800,5	3788,0	3771,0

Tabela 95: Resultado leituras retração mistura 3C2D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,705	2,738	2,720	2,722	2,738
Autógena	1	0,811	0,817	0,789	0,775	0,785
Autógena	2	4,735	4,746	4,689	4,686	4,713
Autógena	3	1,362	1,360	1,350	1,320	1,318
Hidráulica	4	3,894	3,926	3,858	3,861	3,874
Hidráulica	5	3,204	3,248	3,189	3,188	3,181
Hidráulica	6	3,835	3,850	3,818	3,781	3,817
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3902,5	3897,0	3896,0	3874,5	3855,5
Hidráulica	5	3854,0	3850,0	3842,5	3831,5	3813,0
Hidráulica	6	3895,5	3892,5	3884,5	3873,0	3854,0

Tabela 96: Resultado leituras retração mistura 3C2D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,832	2,704	2,707	2,702	2,713
Autógena	1	1,348	1,190	1,299	1,293	1,272
Autógena	2	0,832	0,703	0,693	0,658	0,663
Autógena	3	0,881	0,816	0,706	0,716	0,705
Hidráulica	4	1,167	1,060	1,049	1,034	1,020
Hidráulica	5	1,213	1,091	1,100	1,032	1,093
Hidráulica	6	2,010	1,914	1,878	1,883	1,844
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3820,5	3807,0	3795,5	3784,0	3780,5
Hidráulica	5	3701,5	3697,5	3676,0	3665,0	3661,5
Hidráulica	6	3749,5	3733,0	3720,5	3710,0	3716,5

Tabela 97: Resultado leituras retração mistura 3C3D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,778	2,719	2,696	2,702	2,715
Autógena	1	-0,016	0,007	-0,009	0,003	0,004
Autógena	2	1,027	0,874	0,852	0,850	0,849
Autógena	3	0,971	0,854	0,764	0,640	0,616
Hidráulica	4	0,955	0,858	0,820	0,773	0,771
Hidráulica	5	2,426	2,379	2,365	2,376	2,360

Hidráulica	6	1,895	1,795	1,692	1,748	1,734
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3588,9	3577,1	3531,0	3523,5	3508,0
Hidráulica	5	3548,0	3531,6	3488,0	3489,0	3468,5
Hidráulica	6	3635,2	3623,5	3573,0	3570,5	3554,0

Tabela 98: Resultado leituras retração mistura 3C3D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,689	2,750	2,698	2,720	2,738
Autógena	1	3,297	3,323	3,277	3,286	3,158
Autógena	2	2,731	2,786	2,770	2,762	2,738
Autógena	3	2,870	2,887	2,808	2,771	2,835
Hidráulica	4	3,188	3,214	3,199	3,096	3,115
Hidráulica	5	3,218	3,246	3,183	3,245	3,212
Hidráulica	6	2,929	2,959	2,857	2,889	2,887
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3790,0	3773,5	3744,5	3753,0	3733,5
Hidráulica	5	3753,5	3741,0	3710,5	3719,0	3699,0
Hidráulica	6	3715,0	3701,5	3670,5	3678,5	3659,5

Tabela 99: Resultado leituras retração mistura 3C3D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,645	2,708	2,682	2,702	2,713
Autógena	1	1,637	1,318	1,330	1,313	1,343
Autógena	2	0,978	1,101	0,926	0,906	0,825
Autógena	3	1,063	1,111	1,043	1,047	1,045
Hidráulica	4	1,102	1,080	1,054	1,043	1,073
Hidráulica	5	2,749	2,751	2,722	2,710	2,742
Hidráulica	6	2,365	2,396	2,282	2,311	2,350
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3576,9	3522,0	3515,5	3505,5	3511,0
Hidráulica	5	3735,6	3685,5	3680,0	3668,0	3673,5
Hidráulica	6	3686,9	3636,5	3629,5	3616,5	3621,5

Tabela 100: Resultado leituras retração mistura 3C4D1T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,758	2,691	2,705	2,702	2,715
Autógena	1	1,886	1,839	1,808	1,750	1,781
Autógena	2	2,800	2,718	2,713	2,670	2,716
Autógena	3	3,110	3,033	3,012	2,980	3,027
Hidráulica	4	3,353	3,261	3,216	3,189	3,243
Hidráulica	5	2,569	2,473	2,476	2,413	2,436
Hidráulica	6	2,952	2,945	2,788	2,774	2,792
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3708,5	3708,2	3683,5	3666,0	3650,0
Hidráulica	5	3627,5	3622,1	3603,5	3585,5	3569,5
Hidráulica	6	3595,0	3593,0	3563,5	3546,0	3530,5

Tabela 101: Resultado leituras retração mistura 3C4D3T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,671	2,711	2,655	2,698	2,715
Autógena	1	2,015	2,136	1,986	2,057	2,036
Autógena	2	2,437	2,445	2,396	2,398	2,346
Autógena	3	2,893	2,854	2,858	2,886	2,916
Hidráulica	4	2,676	2,688	2,611	2,640	2,666
Hidráulica	5	3,647	3,642	3,576	3,636	3,645
Hidráulica	6	2,908	2,945	2,855	2,882	2,882
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3722,8	3704,5	3703,5	3651,5	3601,0
Hidráulica	5	3840,4	3827,9	3782,5	3774,5	3722,0
Hidráulica	6	3755,4	3744,5	3700,0	3691,5	3639,5

Tabela 102: Resultado leituras retração mistura 3C4D2T.

Retração	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Padrão		2,785	2,701	2,704	2,702	2,713
Autógena	1	2,200	2,158	2,133	2,105	2,016
Autógena	2	3,089	2,983	2,965	2,962	2,919
Autógena	3	2,766	2,662	2,678	2,663	2,685
Hidráulica	4	3,412	3,318	3,283	3,258	3,221
Hidráulica	5	2,926	2,838	2,798	2,768	2,801

Hidráulica	6	3,215	3,099	3,064	3,051	3,058
Perda de massa	Molde	Leituras (dias)				
		1	3	7	14	28
Hidráulica	4	3581,0	3567,5	3522,0	3518,5	3518,5
Hidráulica	5	3650,7	3638,6	3591,5	3587,5	3589,5
Hidráulica	6	3692,3	3682,9	3632,5	3627,0	3628,5

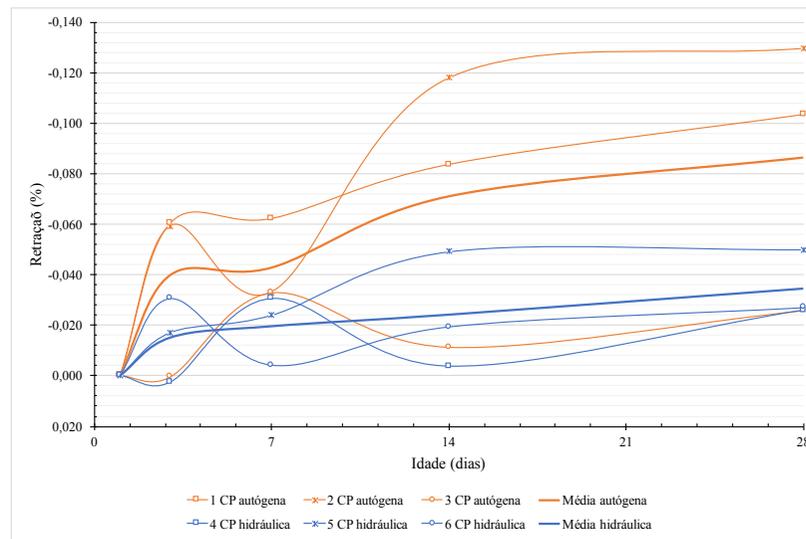


Figura 125: Retrações mistura 3C0D0T.

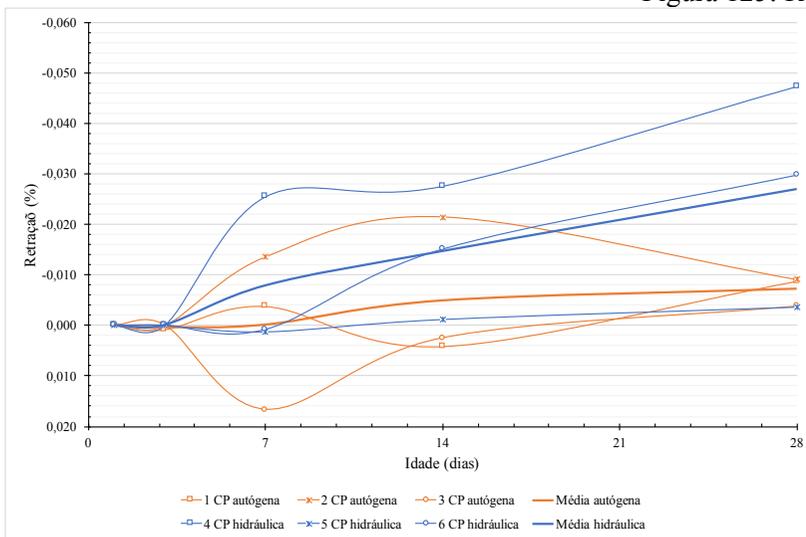


Figura 126: Retrações mistura 3C1D1T.

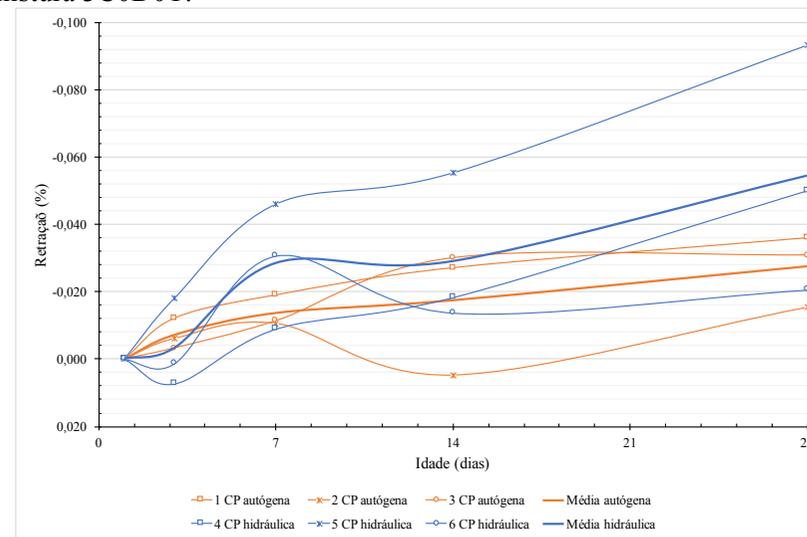


Figura 127: Retrações mistura 3C1D3T.

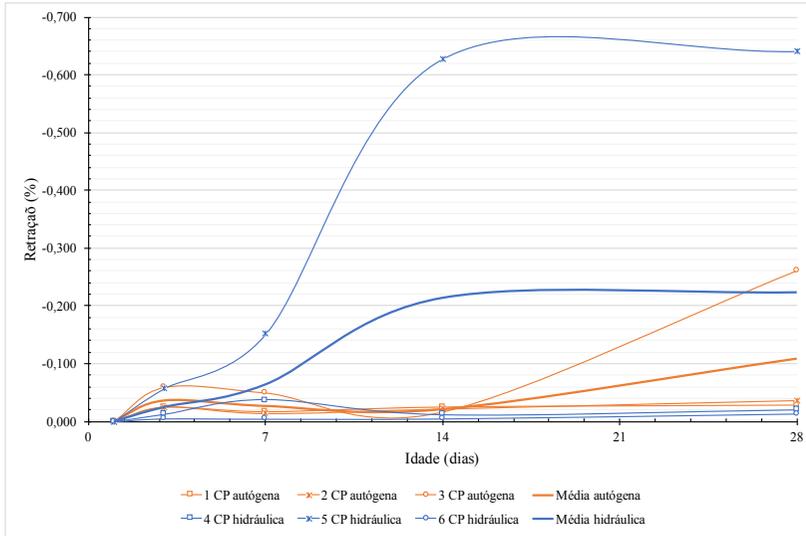


Figura 128: Retrações mistura 3C1D2T.

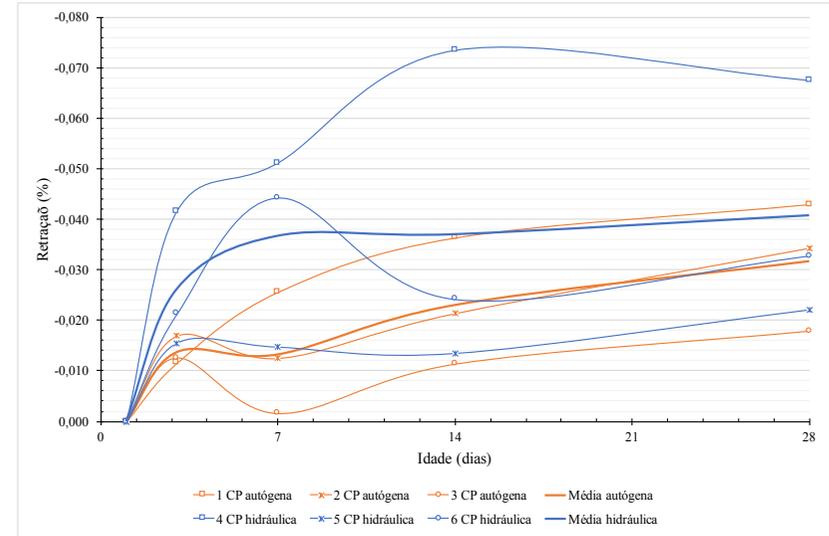


Figura 129: Retrações mistura 3C2D1T.

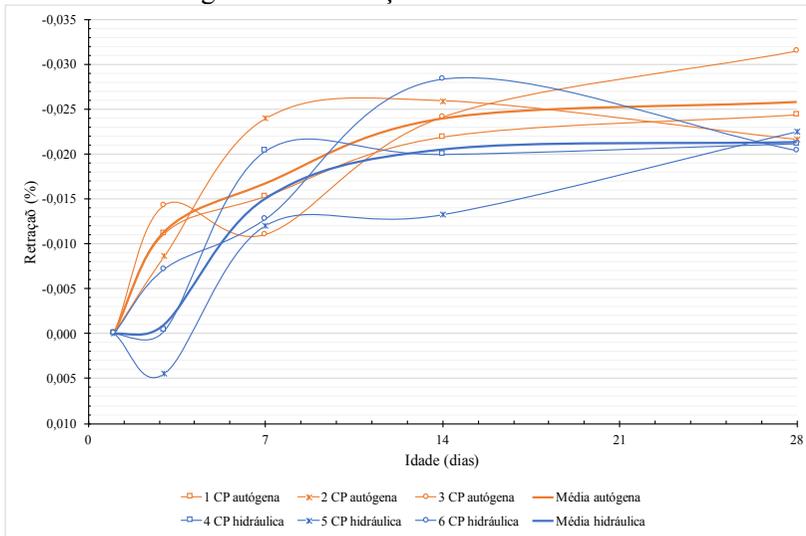


Figura 130: Retrações mistura 3C2D3T.

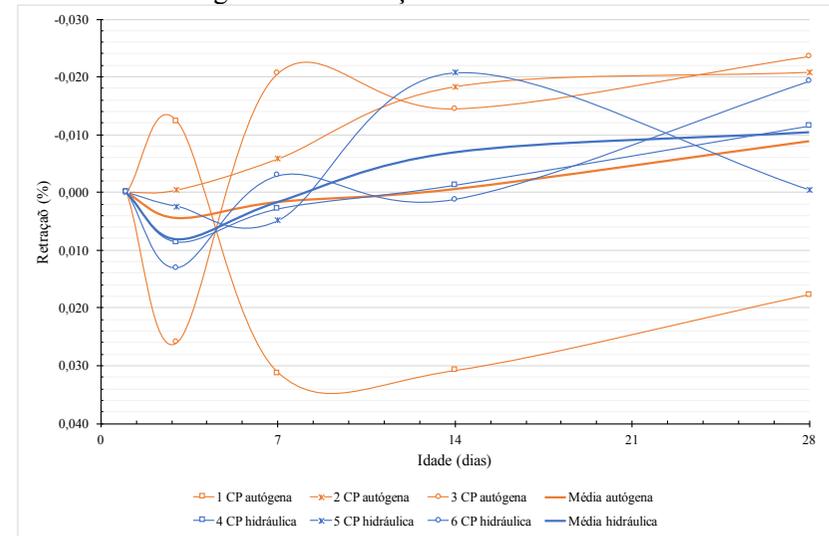


Figura 131: Retrações mistura 3C2D2T.

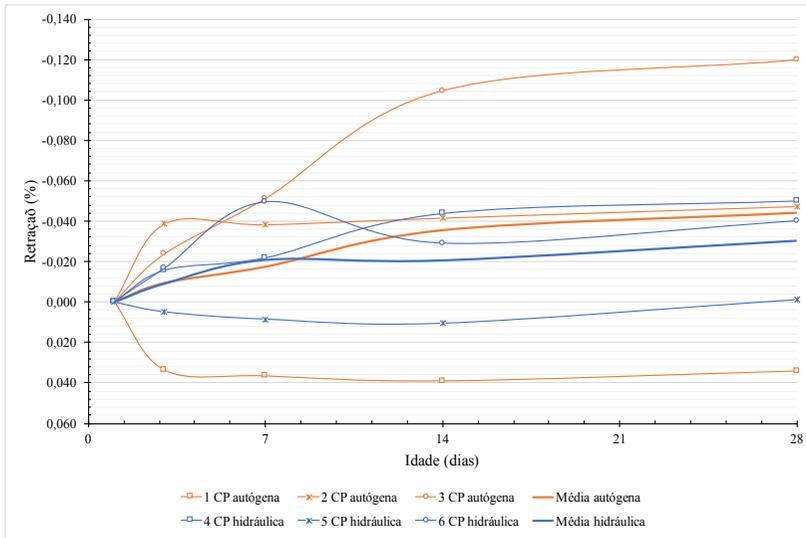


Figura 132: Retrações mistura 3C3D1T.

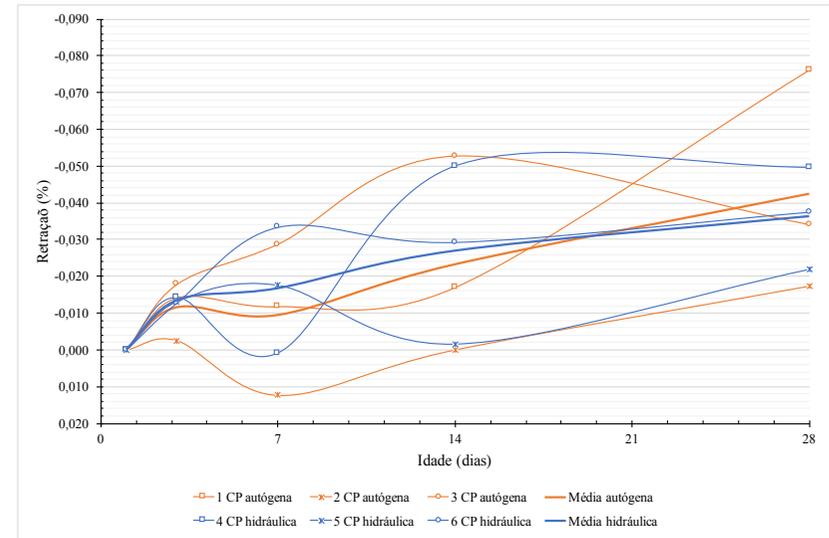


Figura 133: Retrações mistura 3C3D3T.

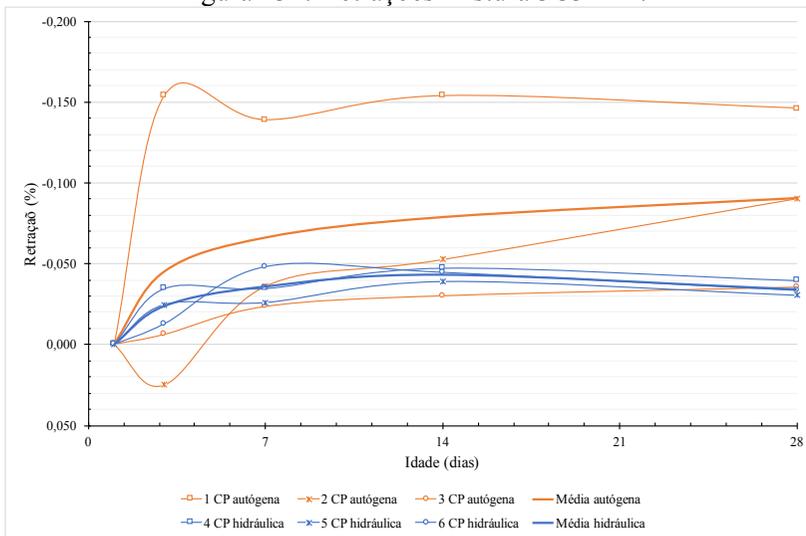


Figura 134: Retrações mistura 3C3D2T.

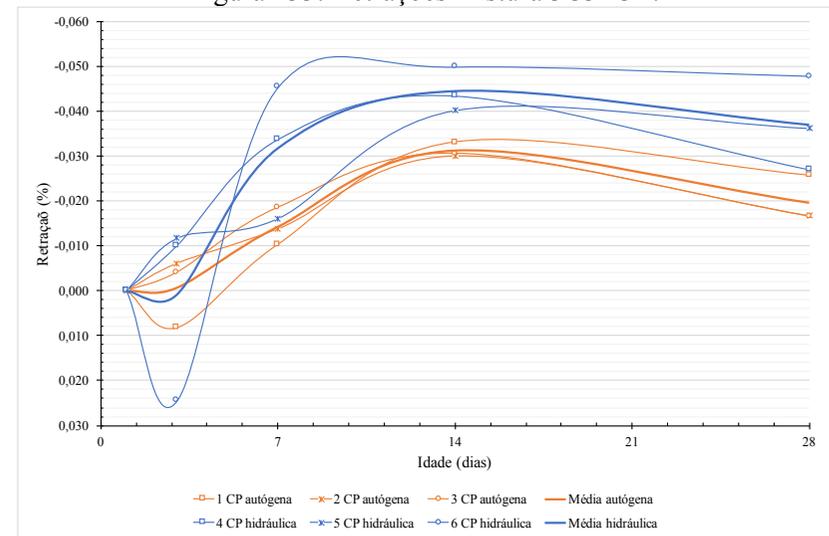


Figura 135: Retrações mistura 3C4D1T.

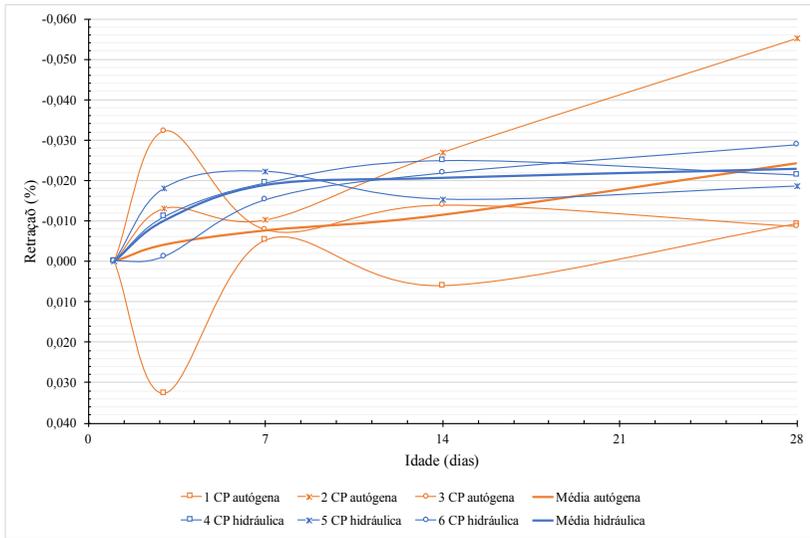


Figura 136: Retrações mistura 3C4D3T.

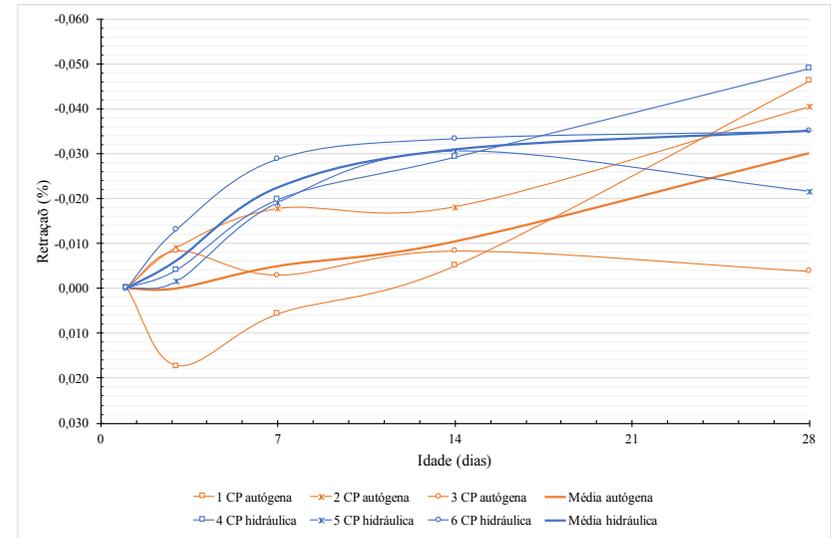


Figura 137: Retrações mistura 3C4D2T.

APÊNDICE D TABELAS DE ANÁLISES DE VARIÂNCIA

PERDA DE MASSA NO ESTADO FRESCO

Tabela 103: ANOVA interação tripla para perda de massa no estado fresco, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	0,0698	0,0698	1,1133	0,2995
Adição	1	0,0035	0,0035	0,0562	0,8141
Teor	1	0,0037	0,0037	0,0603	0,8075
Cimento : Adição	1	0,0056	0,0056	0,0903	0,7657
Cimento : Teor	1	0,0116	0,0116	0,1853	0,6698
Adição : Teor	1	0,0198	0,0198	0,3159	0,5781
Cimento : Adição : Teor	1	0,0068	0,0068	0,1098	0,7426
Resíduos	31	1,9454	1,9454		

Tabela 104: ANOVA interação dupla para perda de massa no estado fresco, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	0,5987	0,2994	8,1711	0,0058
Adição	4	0,0984	0,0246	0,6716	0,6242
Teor	2	0,0034	0,0017	0,0469	0,9543
Cimento : Adição	8	0,4645	0,0581	1,5849	0,2276
Cimento : Teor	4	0,3935	0,0984	2,6853	0,0828
Adição : Teor	6	0,0915	0,0153	0,4163	0,8544
Resíduos	12	0,4396	0,0366		

Tabela 105: ANOVA interação simples para perda de massa no estado fresco, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	0,5987	0,2994	6,4647	0,0046
Adição	4	0,0984	0,0246	0,5313	0,7136
Teor	2	0,0034	0,0017	0,0371	0,9636
Resíduos	30	1,3892	0,0463		

TAXA DE EVAPORAÇÃO

Tabela 106: ANOVA interação tripla para taxa de evaporação no estado fresco, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	0,0002	0,0002	1,7740	0,1925
Adição	1	0,0005	0,0005	4,3746	0,0447
Teor	1	0,0002	0,0002	1,9200	0,1757
Cimento : Adição	1	0,0005	0,0005	4,8301	0,0355
Cimento : Teor	1	0,0000	0,0000	0,0140	0,9064
Adição : Teor	1	0,0000	0,0000	0,0730	0,7887
Cimento : Adição : Teor	1	0,0000	0,0000	0,0068	0,9346
Resíduos	31	0,0001	0,0001		

Tabela 107: ANOVA interação dupla para taxa de evaporação no estado fresco, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	0,0018	0,0009	58,1373	0,0000
Adição	4	0,0011	0,0003	16,8355	0,0001
Teor	2	0,0001	0,0001	3,6320	0,0584
Cimento : Adição	8	0,0020	0,0002	15,7308	0,0000
Cimento : Teor	4	0,0002	0,0000	2,8790	0,0695
Adição : Teor	6	0,0002	0,0000	1,6778	0,2097
Resíduos	12	0,0002	0,0000		

Tabela 108: ANOVA interação simples para taxa de evaporação no estado fresco, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	0,0018	0,0009	10,9397	0,0003
Adição	4	0,0011	0,0003	3,1679	0,0276
Teor	2	0,0001	0,0001	0,6834	0,5126
Resíduos	30	0,0025	0,0001		

ESPALHAMENTO (SLUMP FLOW)

Tabela 109: ANOVA interação tripla slump Flow 15 minutos, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	483,1244	483,1244	0,4722	0,4971
Adição	1	3752,7841	3752,7841	3,6678	0,0647
Teor	1	135,1257	135,1257	0,1321	0,7188
Cimento : Adição	1	1560,9470	1560,9470	1,5256	0,2261
Cimento : Teor	1	71,0779	71,0779	0,0695	0,7939
Adição : Teor	1	0,2083	0,2083	0,0002	0,9887
Cimento : Adição : Teor	1	661,2500	661,2500	0,6463	0,4276

Resíduos	31	1023,1766	1023,1766
-----------------	----	-----------	-----------

Tabela 110: ANOVA interação dupla slump Flow 15 minutos, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	703,8462	351,9231	1,2744	0,3149
Adição	4	16281,1966	4070,2991	14,7391	0,0001
Teor	2	2454,1667	1227,0833	4,4434	0,0360
Cimento : Adição	8	11173,9316	1396,7415	5,0578	0,0063
Cimento : Teor	4	1741,6667	435,4167	1,5767	0,2433
Adição : Teor	6	3673,6111	612,2685	2,2171	0,1133
Resíduos	12	3313,8889	276,1574		

Tabela 111: ANOVA interação simples Slump Flow 15 minutos, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	703,8462	351,9231	0,5305	0,5938
Adição	4	16281,1966	4070,2991	6,1352	0,0010
Teor	2	2454,1667	1227,0833	1,8496	0,1748
Resíduos	30	19903,0983	663,4366		

Tabela 112: ANOVA interação tripla slump Flow 30 minutos, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	25551,3965	25551,3965	1,5819	0,2179
Adição	1	21700,2273	21700,2273	1,3435	0,2553
Teor	1	7127,1930	7127,1930	0,4412	0,5114
Cimento : Adição	1	23223,0682	23223,0682	1,4378	0,2396
Cimento : Teor	1	2,0496	2,0496	0,0001	0,9911
Adição : Teor	1	22687,5000	22687,5000	1,4046	0,2450
Cimento : Adição : Teor	1	4061,2500	4061,2500	0,2514	0,6196
Resíduos	31	16152,3642	16152,3642		

Tabela 113: ANOVA interação dupla slump Flow 30 minutos, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	71947,4359	35973,7179	3,4690	0,0647
Adição	4	72861,1111	18215,2778	1,7565	0,2024
Teor	2	72838,8889	36419,4444	3,5120	0,0630
Cimento : Adição	8	123291,4530	15411,4316	1,4861	0,2585
Cimento : Teor	4	62002,7778	15500,6944	1,4947	0,2648
Adição : Teor	6	61983,3333	10330,5556	0,9962	0,4703
Resíduos	12	124441,6667	10370,1389		

Tabela 114: ANOVA interação simples slump Flow 30 minutos, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	71947,4359	35973,7179	2,9033	0,0704
Adição	4	72861,1111	18215,2778	1,4701	0,2360
Teor	2	72838,8889	36419,4444	2,9393	0,0683
Resíduos	30	371719,2308	12390,6410		

PERDA DE TRABALHABILIDADE

Tabela 115: ANOVA interação tripla perda de trabalhabilidade, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	426,3331	426,3331	1,5100	0,2284
Adição	1	248,3056	248,3056	0,8795	0,3556
Teor	1	131,8991	131,8991	0,4672	0,4994
Cimento : Adição	1	313,0891	313,0891	1,1089	0,3005
Cimento : Teor	1	5,4607	5,4607	0,0193	0,8903
Adição : Teor	1	452,3131	452,3131	1,6020	0,2150
Cimento : Adição : Teor	1	46,4414	46,4414	0,1645	0,6878
Resíduos	31	282,3385	282,3385		

Tabela 116: ANOVA interação dupla perda de trabalhabilidade, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	1314,7232	657,3616	3,1410	0,0800
Adição	4	1267,3640	316,8410	1,5139	0,2596
Teor	2	1243,9342	621,9671	2,9719	0,0895
Cimento : Adição	8	1709,1342	213,6418	1,0208	0,4702
Cimento : Teor	4	1077,0982	269,2745	1,2867	0,3291
Adição : Teor	6	1015,7986	169,2998	0,8089	0,5824
Resíduos	12	2511,4012	209,2834		

Tabela 117: ANOVA interação simples perda de trabalhabilidade, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	1314,7232	657,3616	3,1236	0,0586
Adição	4	1267,3640	316,8410	1,5056	0,2256
Teor	2	1243,9342	621,9671	2,9554	0,0674
Resíduos	30	6313,4323	210,4477		

HABILIDADE PASSANTE (ANEL-J)

Tabela 118: ANOVA interação tripla anel-J, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	6,5557	6,5557	0,0012	0,9731
Adição	1	6275,3093	6275,3093	1,1041	0,3015
Teor	1	184,2147	184,2147	0,0324	0,8583
Cimento : Adição	1	12328,4186	12328,4186	2,1691	0,1509
Cimento : Teor	1	908,6602	908,6602	0,1599	0,6920
Adição : Teor	1	8585,2083	8585,2083	1,5105	0,2283
Cimento : Adição : Teor	1	10465,3125	10465,3125	1,8413	0,1846
Resíduos	31	5683,5998	5683,5998		

Tabela 119: ANOVA interação dupla anel-J, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	701,2821	350,6410	0,1040	0,9020
Adição	4	43204,7009	10801,1752	3,2050	0,0524
Teor	2	10101,3889	5050,6944	1,4987	0,2624
Cimento : Adição	8	47370,9402	5921,3675	1,7570	0,1826
Cimento : Teor	4	29602,7778	7400,6944	2,1960	0,1310
Adição : Teor	6	30970,8333	5161,8056	1,5316	0,2491
Resíduos	12	40441,6667	3370,1389		

Tabela 120: ANOVA interação simples anel-J, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	701,2821	350,6410	0,0709	0,9317
Adição	4	43204,7009	10801,1752	2,1837	0,0948
Teor	2	10101,3889	5050,6944	1,0211	0,3724
Resíduos	30	148386,2179	4946,2073		

Tabela 121: ANOVA interação tripla diferença slump e anel-J, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	4139,8357	4139,8357	1,2547	0,2713
Adição	1	1327,0102	1327,0102	0,4022	0,5306
Teor	1	2350,3417	2350,3417	0,7124	0,4051
Cimento : Adição	1	24,1750	24,1750	0,0073	0,9323
Cimento : Teor	1	101,1744	101,1744	0,0307	0,8621
Adição : Teor	1	2262,7899	2262,7899	0,6858	0,4139
Cimento : Adição : Teor	1	480,6411	480,6411	0,1457	0,7053
Resíduos	31	3299,3573	3299,3573		

Tabela 122: ANOVA interação dupla diferença slump e anel-J, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	5213,9883	2606,9941	0,7685	0,4852

Adição	4	19768,3796	4942,0949	1,4569	0,2754
Teor	2	2534,7623	1267,3811	0,3736	0,6960
Cimento : Adição	8	18562,8719	2320,3590	0,6840	0,6989
Cimento : Teor	4	9150,8829	2287,7207	0,6744	0,6224
Adição : Teor	6	21966,5313	3661,0885	1,0793	0,4266
Resíduos	12	40705,8375	3392,1531		

Tabela 123: ANOVA interação simples diferença slump e anel-J, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	5213,9883	2606,9941	0,8653	0,4312
Adição	4	19768,3796	4942,0949	1,6403	0,1900
Teor	2	2534,7623	1267,3811	0,4207	0,6604
Resíduos	30	90386,1236	3012,8708		

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela 124: ANOVA interação tripla resistência á compressão aos 7 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	352,9700	352,9700	20,2050	0,0001
Adição	1	1,2800	1,2800	0,0730	0,7884
Teor	1	4,2900	4,2900	0,2460	0,6236
Cimento : Adição	1	40,2600	40,2600	2,3050	0,1390
Cimento : Teor	1	19,3400	19,3400	1,1070	0,3008
Adição : Teor	1	28,7500	28,7500	1,6460	0,2090
Cimento : Adição : Teor	1	14,5100	14,5100	0,8300	0,3691
Resíduos	31	541,5400	17,4700		

Tabela 125: ANOVA interação dupla resistência á compressão aos 7 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	577,3621	288,6810	19,8439	0,0001
Adição	4	125,1966	31,2991	2,1515	0,1367
Teor	2	3,38778	1,6938	0,1164	0,8910
Cimento : Adição	8	122,6322	15,3290	1,0537	0,4511
Cimento : Teor	4	22,6488	5,6622	0,3892	0,8123
Adição : Teor	6	79,3308	13,2218	0,9088	0,5202
Resíduos	12	174,5704	14,5475		

Tabela 126: ANOVA interação simples resistência á compressão aos 7 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	577,3621	288,6810	21,6954	0,0000
Adição	4	125,1966	31,2991	2,3522	0,0765
Teor	2	3,3877	1,6938	0,1273	0,8809

Resíduos	30	399,1823	13,3060
-----------------	----	----------	---------

Tabela 127: ANOVA interação tripla resistência á compressão aos 28 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	14,0800	14,0800	0,4690	0,4985
Adição	1	8,3300	8,3300	0,2770	0,6021
Teor	1	6,1900	6,1900	0,2060	0,6528
Cimento : Adição	1	0,1900	0,1900	0,0060	0,9365
Cimento : Teor	1	3,5900	3,5900	0,1200	0,7317
Adição : Teor	1	16,0300	16,0300	0,5340	0,4703
Cimento : Adição : Teor	1	18,4000	18,4000	0,6130	0,4396
Resíduos	31	930,5000	30,0200		

Tabela 128: ANOVA interação dupla resistência á compressão aos 28 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	429,8375	214,9187	8,4431	0,0051
Adição	4	31,5953	7,8988	0,3103	0,8656
Teor	2	63,9140	31,9570	1,2554	0,3198
Cimento : Adição	8	66,1943	8,2742	0,3250	0,9405
Cimento : Teor	4	49,0435	12,2608	0,4816	0,7489
Adição : Teor	6	44,90351	7,4839	0,2940	0,9283
Resíduos	12	305,4572	25,4547		

Tabela 129: ANOVA interação simples resistência á compressão aos 28 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	429,8375	214,9187	13,8478	0,00005
Adição	4	31,5953	7,8988	0,5089	0,7295
Teor	2	63,9140	31,9570	2,0590	0,1452
Resíduos	30	465,5987	15,5199		

MÓDULO DE ELASTICIDADE

Tabela 130: ANOVA interação tripla módulo de elasticidade aos 7 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	71,8026	71,8026	3,4343	0,0734
Adição	1	16,6300	16,6300	0,7954	0,3793
Teor	1	40,7878	40,7878	1,9508	0,1724
Cimento : Adição	1	23,1478	23,1478	1,1071	0,3008
Cimento : Teor	1	3,5172	3,5172	0,1682	0,6845
Adição : Teor	1	36,0712	36,0712	1,7253	0,1987
Cimento : Adição : Teor	1	71,5586	71,5586	3,4226	0,0739

Resíduos	31	20,9078	20,9078
-----------------	----	---------	---------

Tabela 131: ANOVA interação dupla módulo de elasticidade aos 7 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	129,4837	64,7418	3,5396	0,0619
Adição	4	56,5560	14,1390	0,7730	0,5633
Teor	2	69,9756	34,9878	1,9129	0,1901
Cimento : Adição	8	200,8827	25,1103	1,3728	0,2993
Cimento : Teor	4	14,5370	3,6343	0,1987	0,9343
Adição : Teor	6	180,0716	30,0119	1,6408	0,2190
Resíduos	12	219,4884	18,2907		

Tabela 132: ANOVA interação simples módulo de elasticidade aos 7 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	129,4837	64,7418	3,1582	0,0569
Adição	4	56,5560	14,1390	0,6897	0,6048
Teor	2	69,9756	34,9878	1,7068	0,1986
Resíduos	30	614,9798	20,4993		

Tabela 133: ANOVA interação tripla módulo de elasticidade aos 28 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma dos quadrados	Quadrado médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	479,9717	479,9717	19,1711	0,0001
Adição	1	48,3279	48,3279	1,9303	0,1746
Teor	1	80,8956	80,8956	3,2311	0,0820
Cimento : Adição	1	41,9761	41,9761	1,6766	0,2049
Cimento : Teor	1	4,4649	4,4649	0,1783	0,6757
Adição : Teor	1	1,4392	1,4392	0,0575	0,8121
Cimento : Adição : Teor	1	10,5452	10,5452	0,4212	0,5211
Resíduos	31	25,0362	25,0362		

Tabela 134: ANOVA interação dupla módulo de elasticidade aos 28 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	520,4935	260,2467	26,5995	0,0000
Adição	4	304,1314	76,0328	7,7712	0,0025
Teor	2	64,1191	32,0595	3,2768	0,0732
Cimento : Adição	8	471,9897	58,9987	6,0302	0,0030
Cimento : Teor	4	34,5363	8,6341	0,8825	0,5031
Adição : Teor	6	40,1810	6,6968	0,6845	0,6661
Resíduos	12	117,4066	9,7839		

Tabela 135: ANOVA interação simples módulo de elasticidade aos 28 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	520,4935	260,2467	11,7561	0,0002
Adição	4	304,1314	76,0328	3,4346	0,0200
Teor	2	64,1191	32,0595	1,4482	0,2509
Resíduos	30	664,1136	22,1371		

RETRAÇÃO AUTÓGENA

Tabela 136: ANOVA interação tripla retração autógena aos 28 dias, com nível de significância de 10%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	0,0007	0,0007	0,2300	0,6349
Adição	1	0,0000	0,0000	0,0093	0,9239
Teor	1	0,0028	0,0028	0,8922	0,3522
Cimento : Adição	1	0,0119	0,0119	3,7876	0,0607
Cimento : Teor	1	0,0000	0,0000	0,0090	0,9251
Adição : Teor	1	0,0000	0,0000	0,0142	0,9060
Cimento : Adição : Teor	1	0,0039	0,0039	1,2521	0,2718
Resíduos	31	0,0031	0,0031		

Tabela 137: ANOVA interação dupla retração autógena aos 28 dias, com nível de significância de 10%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	0,0147	0,0073	3,7326	0,0549
Adição	4	0,0171	0,0043	2,1667	0,1348
Teor	2	0,0049	0,0024	1,2378	0,3245
Cimento : Adição	8	0,0381	0,0048	2,4168	0,0816
Cimento : Teor	4	0,0036	0,0009	0,4530	0,7686
Adição : Teor	6	0,0112	0,0019	0,9478	0,4975
Resíduos	12	0,0236	0,0020		

Tabela 138: ANOVA interação simples retração autógena aos 28 dias, com nível de significância de 10%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	0,0147	0,0073	2,8835	0,0715
Adição	4	0,0171	0,0043	1,6738	0,1820
Teor	2	0,0049	0,0024	0,9562	0,3957
Resíduos	30	0,0764	0,0025		

RETRAÇÃO HIDRÁULICA

Tabela 139: ANOVA interação tripla retração hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 10%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	0,0035	0,0035	2,0857	0,1587
Adição	1	0,0023	0,0023	1,3787	0,2493
Teor	1	0,0002	0,0002	0,1437	0,7072
Cimento : Adição	1	0,0341	0,0341	20,4864	0,0001
Cimento : Teor	1	0,0000	0,0000	0,0236	0,8789
Adição : Teor	1	0,0023	0,0023	1,4044	0,2450
Cimento : Adição : Teor	1	0,0039	0,0039	2,3500	0,1354
Resíduos	31	0,0017	0,0017		

Tabela 140: ANOVA interação dupla retração hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 10%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	0,0105	0,0053	4,2873	0,0394
Adição	4	0,0047	0,0012	0,9550	0,4664
Teor	2	0,0014	0,0007	0,5900	0,5696
Cimento : Adição	8	0,0443	0,0055	4,5169	0,0098
Cimento : Teor	4	0,0062	0,0016	1,2692	0,3352
Adição : Teor	6	0,0125	0,0021	1,6979	0,2048
Resíduos	12	0,0147	0,0012		

Tabela 141: ANOVA interação simples retração hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 10%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	0,0105	0,0053	2,0287	0,1492
Adição	4	0,0047	0,0012	0,4519	0,7702
Teor	2	0,0014	0,0007	0,2792	0,7583
Resíduos	30	0,0777	0,0026		

PERDA DE MASSA NA RETRAÇÃO

Tabela 142: ANOVA interação tripla perda de massa hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	1	0,0035	0,0035	2,0857	0,1587
Adição	1	0,0023	0,0023	1,3787	0,2493
Teor	1	0,0002	0,0002	0,1437	0,7072
Cimento : Adição	1	0,0341	0,0341	20,4864	0,0001
Cimento : Teor	1	0,0000	0,0000	0,0236	0,8789
Adição : Teor	1	0,0023	0,0023	1,4044	0,2450

Cimento : Adição : Teor	1	0,0039	0,0039	2,3500	0,1354
Resíduos	31	0,0017	0,0017		

Tabela 143: ANOVA interação dupla perda de massa hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	21,1668	10,5834	37,1140	0,0000
Adição	4	2,0749	0,5187	1,8191	0,1900
Teor	2	0,0376	0,0188	0,0660	0,9365
Cimento : Adição	8	2,3635	0,2954	1,0360	0,4613
Cimento : Teor	4	0,1762	0,0441	0,1545	0,9573
Adição : Teor	6	1,4561	0,2427	0,8510	0,5556
Resíduos	12	3,4219	0,2852		

Tabela 144: ANOVA interação simples perda de massa hidráulica aos 28 dias, com nível de significância de 5%.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	P-valor
Cimento	2	21,1668	10,5834	42,8033	0,0000
Adição	3	1,3761	0,4587	1,8551	0,1585
Teor	3	0,7365	0,2455	0,9929	0,4095
Resíduos	30	7,4177	0,2473		