

Influência de juntas frias no comportamento de elementos de concreto armado sob flexão

Influence of cold joints on the behavior of reinforced concrete elements under flexion

*Cleidson Carneiro Guimarães(1); Raimar Ramos de Macedo Filho(2);
Helio Guimarães Aragão(3); Vinícius Almeida Coelho(4)*

- 1 Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas/BA, Brasil.
E-mail: cleidsonguimaraes@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9608-5947>
- 2 Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas/BA, Brasil.
E-mail: raimarfilho@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1427-3555>
- 3 Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas/BA, Brasil.
E-mail: enghelioaragao@yahoo.com.br
- 4 Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas/BA, Brasil.
E-mail: voelho@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3595-9433>

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, v. 9, n. 1, p. 1-16, janeiro-junho, 2022 - ISSN 2358-6508

[Recebido: maio 21, 2020; Aceito: abril 27, 2022]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2022.v9i1.4106>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

É muito difícil fundir toda a estrutura monoliticamente sem que se empregue juntas frias, principalmente no plano de interseção da concretagem das vigas e da laje. Nesses casos, emprega-se, comumente, concretar a viga até a altura da laje e o preenchimento do restante da viga ocorre ao concretar a laje. Esta técnica permite a formação de junta fria na interface entre o concreto novo e o já existente, na viga. Esse trabalho avaliou a interferência da presença de juntas de concretagem no comportamento mecânico das vigas moldadas com e sem junta fria. Para o lote das vigas com junta fria, um grupo foi tratado com argamassa estrutural como elemento de ligação do substrato ao novo concreto. O deslocamento das vigas, quando submetidas à flexão de três pontos, com junta foi comparado com o da viga referência, sem junta fria. Os resultados demonstraram que a presença de juntas não interfere expressivamente no comportamento mecânico nos elementos estruturais ensaiados no Estado de Limite de Serviço (ELS) e Estado de Limite Último (ELU).

Palavras-chave: Concreto armado; Deformação em vigas; Junta fria.

Abstract

It is very difficult to fuse the entire structure monolithically without using cold joints, especially in the plane of intersection of the beam and slab concreting. In such cases, it is commonly employed to form the beam to the height of the slab and the rest of the beam is filled when the slab is cast. This technique allows the formation of a cold joint at the interface between new and existing concrete in the beam. This work evaluated the interference of the presence of concrete joints in the mechanical behavior of beams with and without cold joints. For the cold joint beam batch, one group was treated with structural mortar as a substrate bonding element to the new concrete. The displacement of the beams, when subjected to three point bending, with joint was compared with that of the reference beam, without cold joint. The results showed that the presence of joints does not significantly affect the mechanical behavior in the structural elements tested in the Limit of Service (ELS) and Ultimate Limit (ELU).

Keywords: Reinforced concrete; Deformation in beams; Cold joint.

1 Introdução

O aprimoramento das técnicas construtivas, a utilização de softwares especializados para dimensionamento e o conhecimento aprofundado das propriedades do concreto têm proporcionado avanços na produção de estruturas de concreto armado, possibilitando a produção de estruturas menos robustas e mais econômicas (BARBOSA, 2010). A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece parâmetros que devem ser respeitados pelo engenheiro projetista ao fazer o dimensionamento de uma estrutura de concreto armado, tais como valores limites de deslocamento, abertura características de fissuras, taxas mínimas de armadura e outros.

Torna-se importante então a análise de alguns temas como a junta fria, que, em termos teóricos, devem ser evitados, contudo, ocorrem devido a práticas e adversidades construtivas. Seja pela falta de material na obra, atrasos na concretagem devido ao transporte do concreto, interrupção do experiente de trabalho ou inevitabilidade da concretagem parcial, como no caso de barragens (RATHI; KOLASE, 2013), concretase parcialmente os elementos estruturais e aguarda-se o momento de concretagem de outro elemento visando a obtenção de uma estrutura monolítica, maximizando o potencial do concreto. Como exemplo observa-se em edificações a usual concretagem parcial de vigas, que são finalizadas apenas no momento de concretagem das lajes.

Desta forma, surge uma interface que é relativamente mais fraca que os materiais que a circundam e esta interface entre os concretos com diferentes idades termina por controlar muitas propriedades da peça finalizada (KISHEN; RAO 2007). Segundo Yang *et al.* (2018), a qualidade da junta fria é muito dependente da condição da superfície de contato entre os materiais, sendo necessário o uso de técnicas como a escarificação da base ou jateamento desta com jato de água ou areia por exemplo. Nessa região é favorecida a ocorrência de fissuração devido ao processo de retração do concreto, bem como o surgimento de uma zona para a entrada de agentes agressivos que podem ocasionar a corrosão das armaduras (LEE; JANG; CHO, 2016). Além disso, conforme Koyankin, Beletskaya e Guzhevskaya (2014) a existência da junta fria reduz a rigidez do elemento estrutural, reduz sua resistência ao congelamento e também a capacidade de carga.

A existência de juntas frias também levanta preocupações no sentido do seu impacto para a durabilidade das construções. Yang *et al.* (2018), por exemplo, avaliaram o efeito da junta fria na difusão de cloretos em concreto sob diversas condições de carga. Apesar da existência da junta fria não influenciar significativamente a resistência à compressão dos corpos de prova estudados com 365 dias de cura, foi observada sensível redução da resistência à tração e acréscimo de mais de 100% no coeficiente de difusão de cloretos. Na mesma perspectiva de durabilidade, Choi *et al.* (2015) observaram que o uso de adições minerais é capaz de minimizar as

consequências da junta fria em parâmetros importantes como a absorção de água, mas ainda assim a presença da junta produz taxas de absorções superiores, sendo a presença de água na junta uma preocupação sinalizada nos estudos de Rathí e Kolase (2013).

Rathí e Kolase (2015) avaliaram a influência de juntas frias verticais, horizontais e diagonal em corpos de prova prismáticos de concreto simples sobre a resistência mecânica. O programa experimental também avaliou a influência do tempo de lançamento do concreto sobre as resistências mecânicas, para isso moldaram corpos de prova com juntas frias originadas por diferença de concretagem de 0 min, 45 min, 75 min, 120 min e 180 min. Concluíram entre o lançamento de diferentes camadas do concreto interfere positivamente até o período de 75 min, independente da direção da junta fria. Fenômeno explicado pelo tempo de pega usado na pesquisa (75 minutos). Concretagens efetuadas com tempo superior a 75 minutos tenderam a diminuir a resistência à compressão, tração por compressão e a flexão, exceto quando usado retardador de pega. Quanto ao plano da junta fria, o horizontal foi o que menos interferiu negativamente nas resistências mecânicas. Todos os demais reduziram expressivamente a resistência à compressão, tração por compressão e flexão.

Torres *et al.* (2016) destacam que o impacto da junta fria na perda de resistência do conjunto estrutural varia em função de fatores como o plano de inclinação desta em relação aos esforços predominantes, o intervalo de tempo entre as concretagens e os cuidados tomados durante sua execução. Em seu trabalho, os autores observaram que a presença de juntas horizontais em corpos de prova cilíndricos expostos à compressão axial pouco afetou a resistência à compressão, enquanto juntas diagonais e verticais apresentaram entre 15% e 30% de redução da propriedade aos 28 dias. A magnitude dos efeitos foi mais evidente nos exemplares com maior intervalo de tempo entre a concretagem inicial e a formação da junta, devido às distintas idades dos concretos.

Lee, Jang e Cho (2016) investigaram os efeitos do tempo de realização da junta fria em concretos de ultra resistência comparativamente com concretos usuais ressaltando a importância do intervalo para realização da concretagem final. Foi observado pelos autores perda de 36% da resistência ao cisalhamento em concretos de ultra resistência com atraso de 60 minutos entre as concretagens, enquanto concretos usuais apresentaram perda de 25% da resistência ao cisalhamento quando realizada a junta fria com o mesmo atraso.

Kishen e Rao (2007) examinaram o comportamento das interfaces de juntas frias transversais produzidas com concretos de diferentes resistências à compressão em vigas sob ensaio de flexão três pontos. É destacado pelos autores a importância da relação entre as resistências dos materiais que compõem a junta, uma vez que a energia necessária para fissuração da superfície é inversamente proporcional a este parâmetro. A mesma relação foi observada para o tamanho crítico das fissurações, de modo que, para a execução de um reparo eficiente, minimizando os problemas ocasionados pela junta fria, deve-se minimizar a diferença de resistência entre os materiais.

Roy e Laskar (2016) investigaram o comportamento resultante da junta que ocorre inevitavelmente entre vigas e pilares externos durante a execução de diferentes pavimentos de uma edificação, submetendo quatro espécimes a carregamentos cíclicos. Foram avaliadas também vigas com junta fria transversal central sob ensaio de flexão três pontos. Os autores concluíram que, durante o carregamento, a formação da primeira fissura ocorreu na região da junta fria, com posterior rotulação da ligação viga-pilar na mesma região levando à falha do elemento estrutural. Foi observado também que não houve influência significativa da existência da junta fria em vigas sob condições de carregamento estático no que diz respeito à carga máxima suportada, no entanto, houveram sensíveis reduções na rigidez, ductilidade e capacidade de dissipação de energia dos elementos analisados.

Koyankin, Beletskaya e Guzhevskaya (2014) investigaram vigas de concreto armado de seção retângulas (8 cm x 16 cm) e comprimento de 1,2 m sob flexão 4 pontos, observando que as deflexões das vigas com junta fria foram significativamente superiores às daquelas do grupo concretado sem juntas, de modo que a presença das juntas afetou não apenas a capacidade resistente, mas também a rigidez dos elementos. Os autores argumentam ainda que não é possível prever em projeto os locais onde ocorrerão as juntas frias, uma vez que a estrutura é concebida como monolítica, de modo que atenção é necessária à execução de procedimentos que minimizem suas consequências negativas.

No cotidiano de obras de construção civil, é muito difícil fundir toda a estrutura monoliticamente sem que se empregue juntas frias, principalmente no plano de interseção da concretagem das vigas e da laje. Geralmente, as vigas são concretadas até a face inferior da laje, ficando o restante da viga a ser preenchida no momento do lançamento do concreto da laje, originando uma junta fria na horizontal. Caso a viga seja preenchida completamente e posteriormente a laje, originaria uma junta fria na interseção (vertical) da viga-laje. Para evitar a formação da junta fria, seria necessário preencher completamente as vigas e lajes (ao mesmo tempo). Dentre as dificuldades, pode-se destacar capacidade de produção do concreto frente ao volume necessário em um tempo em que a diferença entre os lotes lançados seja inferior ao tempo de pega, capacidade de produção da equipe ou compatibilidade entre o tempo de execução e o volume da concretagem. Nesses casos, emprega-se, comumente, concretar a viga até a altura da laje e o preenchimento do restante da viga ocorre ao concretar a laje. Além disso, a carência de trabalhos que discutam amplamente o tema, conduziu este a verificar a influência da junta fria horizontal no comportamento mecânico de vigas de concreto armado submetidas à flexão, verificando também o comportamento resultante do uso de argamassa supergraute como metodologia de tratamento na interface da junta fria.

2 Programa experimental

2.1 Materiais

2.1.1 Cimento

Para a produção do concreto foi utilizado cimento Portland CP-II-Z 32, com massa específica $3,2 \text{ g/cm}^3$. A Tabela 1 apresta as características físicas, químicas e mecânicas do cimento empregado.

Tabela 1. Características física, química e mecânica do cimento Portland

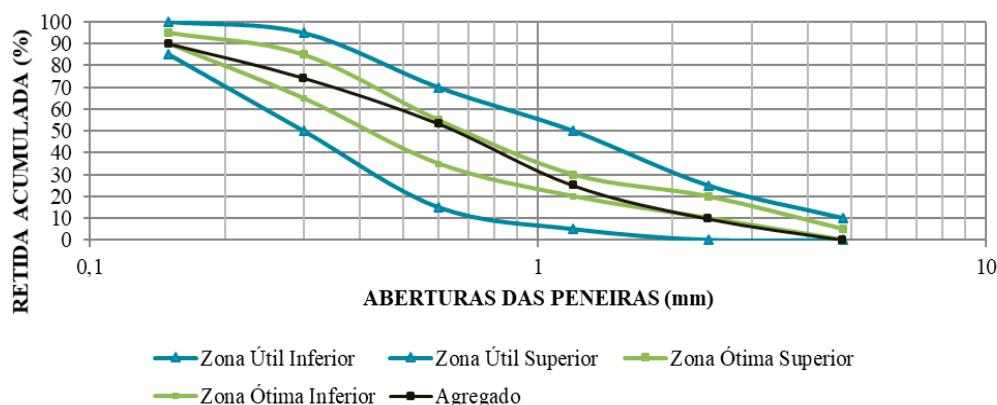
Caracterização física			
Ensaio	Unidade	Resultado	Especificação
Área específica (Blaine)	cm^2/g	4130	≥ 2400
Massa específica	g/cm^3	2,99	$\leq 6,5$
Finura - Retido na peneira # 325	%	10,89	≤ 16
Finura - Retido na peneira # 200	%	1,4	≤ 12
Expansividade (quente)	mm	1,6	≤ 5
Início de Pega	h	2,18	≥ 1
Fim de Pega	h	2,97	≤ 10
Caracterização química			
Perda ao Fogo - PF	%	5,66	≥ 10
Resíduos insolúveis (RI)	%	11,26	≥ 20
Trióxido de enxofre (SO_3)	%	2,81	≥ 32
Caracterização mecânica			
Resistência à compressão aos 3 dias	MPa	20,02	≥ 10
Resistência à compressão aos 7 dias	MPa	27,94	≥ 20
Resistência à compressão aos 28 dias	MPa	35,57	≥ 32

2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo foi composto pela mistura de areia fina, areia média (lavada) e resíduo de britagem, todos comercializados na região de Cruz das Almas – BA, na proporção de 32% de areia fina, 32% de areia lavada e 36 % de resíduo de britagem. O percentual de cada areia na composição do agregado miúdo empregado foi obtido com base nos limites da faixa ótima descrita pela NBR 7211 (ABNT, 2009). Para tal, realizou-se a caracterização de cada agregado conforme a NM 248 (ABNT, 2003) e inseriu-se os dados correspondentes aos percentuais retidos acumulados de cada peneira em uma planilha, realizando-se ajustes iterativos até encontrar os teores apresentados. A Tabela 2 apresenta as características do agregado miúdo empregado para produzir o concreto e a Figura 1 apresenta a distribuição granulométrica.

Tabela 2. Propriedades do agregado miúdo

Propriedade	Unidade	Resultado
Dimensão máxima característica	mm	1,2
Módulo de Finura		1,61
Massa Específica	(g/cm ³)	2,77
Massa Unitária	(g/cm ³)	1,88

Figura 1. Curva granulométrica do agregado miúdo e limites

2.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo foi composto por 80% de brita com dimensão máxima característica 12,5mm e 20% de agregado britado com dimensão máxima característica 19,0mm. Essa proporção foi obtida empregando vários teores de cada brita e observando a massa unitária seca resultante da mistura conforme NM 45 (ABNT, 2006). A proporção adotada foi aquela que promoveu a maior massa unitária à mistura. As propriedades físicas dos agregados utilizados na formulação do concreto são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades físicas do agregado graúdo

Propriedade	Unidade	Resultado
Dimensão máxima característica	mm	19
Massa Específica	(g/cm ³)	2,5
Massa Unitária	(g/cm ³)	1,56

2.1.4 Aditivo

Foi utilizado aditivo superplastificante a base de policarboxilato com densidade de 1,17 g/cm³. O emprego do aditivo foi importante, em função da utilização de areia compensada granulometricamente. A compensação originou maior teor de grãos do agregado por unidade de volume e, desta forma, maior demanda por água de amassamento. Para minimizar esse efeito, foi empregado o aditivo.

2.1.5 Água

Foi empregada água potável proveniente do sistema de abastecimento do laboratório na cidade de Cruz da Almas.

2.1.6 Aço

Para confecção das armaduras foi utilizado aço CA-50.

2.1.7 Supergraute

Para tratamento das juntas frias foi utilizado graute industrializado composto por cimento Portland, agregados minerais, aditivos especiais e fluidificantes, com resistência à compressão aos 28 dias de 50 MPa e massa unitária 2,200 kg/dm³ conforme especificação fornecida pelo fabricante.

2.2 Métodos

2.2.1 Produção do concreto

Para a produção do concreto foi empregado o Método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Adotou-se a classe de agressividade ambiental II, abatimento de tronco cônico 130 mm, consumo de cimento 302,89 kg/m³, resistência real no dia do ensaio de 25 MPa. Tal estudo apontou o traço unitário, em massa, de 1: 2,33: 3,24: 0,67 com um teor de aditivo superplastificante de 0,71% sobre a massa do cimento Portland. Além da concretagem das vigas, também foram moldados corpos de prova para a aferição da resistência à compressão aos 28 dias.

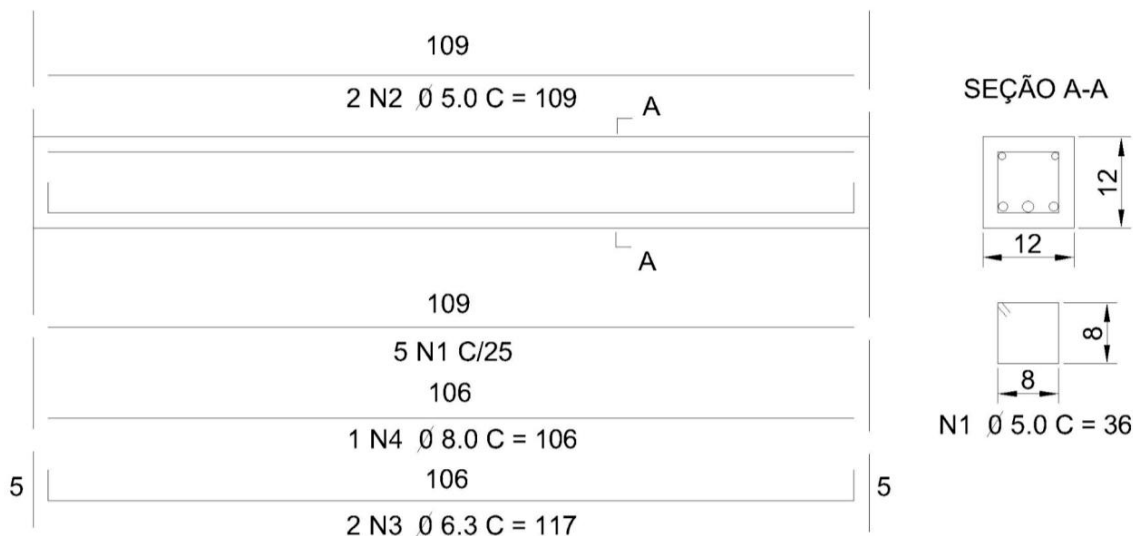
A mistura do concreto foi realizada em betoneira com capacidade de 150 litros durante, aproximadamente 5 minutos, sendo o concreto transferido para as formas onde foi vibrado manualmente com haste metálica, aplicando uniformemente 30 golpes a cada 50 centímetros do comprimento do elemento. Mantidas em formas por três dias, desmoldadas e curadas, à sombra no laboratório e com aspersão diária de água durante os 28 dias.

2.2.2 Dimensionamento das armaduras

A primeira etapa foi a concepção das vigas, onde definiu-se as características geométricas considerando os critérios de dimensionamento prescritos pela NBR 6118 (ABNT, 2014). As vigas ensaiadas apresentaram seção de 12 cm x 12cm e vão de 100 cm. Optou-se pelo ensaio de flexão três pontos por considerar que este geraria uma maior tensão de cisalhamento na região com a junta fria em comparação ao ensaio de flexão quatro pontos, potencializando o esforço nessa região de estudo.

As vigas foram dimensionadas para suportar, além do seu peso próprio, uma carga pontual de 1,5 tf nas condições do Estado de Limite Último. Para analisar as condições de fissuração, foi considerada uma carga pontual de 1,0 tf correspondente ao Estado de Limite de Serviço. O detalhamento das armaduras é representado na Figura 2.

Figura 2. Detalhamento das armaduras



2.2.3 Amostragem

O grupo de estudo foi composto por nove vigas divididas em três grupos de três amostras:

- ♦ Referência: as vigas foram concretadas por completo em uma única vez;
- ♦ Junta Sem Graute (JSG): as vigas foram concretadas 2/3 de sua altura inicialmente e após 48 horas foram completadas;
- ♦ Junta Com Graute (JCG): as vigas foram concretadas de forma análoga ao grupo JSG, porém receberam tratamento com argamassa estrutural na segunda etapa da concretagem;

A segunda concretagem dos grupos JSG e JCG ocorreu após escarificação da superfície do concreto anterior. Além disso, no grupo JCG a concretagem final foi realizada enquanto o supergraute ainda estava no estado fresco. As vigas permaneceram nas formas por 3 dias, em cura no laboratório sob condições ambientais. Foi realizada cura por aspersão de água pelos 25 dias restantes. Ao término deste período, deu-se a realização dos ensaios de flexão. A Figura 3 mostra a concretagem e adensamento das vigas nas formas.

Figura 3. Concretagem das vigas



2.2.4 Ensaio de flexão

As vigas foram ensaiadas em máquina de ensaio universal, apoiadas em roletes parafusados em um perfil metálico W 310 com um defletoímetro analógico posicionado no centro do vão para acompanhamento da deformação durante todo o ensaio (Figura 4). Os dados utilizados para análise foram obtidos através dos sensores de carga e deslocamento da célula de carga da máquina de ensaios e comparados com os obtidos no defletoímetro analógico posicionado no centro do vão.

A análise dos dados se deu de forma comparativa com relação ao comportamento mecânico do grupo de referência, sendo realizada análise de variância (ANOVA) com um fator de variação e significância de 5% para verificar a influência dos diferentes tratamentos nos deslocamentos dos grupos estudados. Realizou-se também a comparação das deformações com os valores limites estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

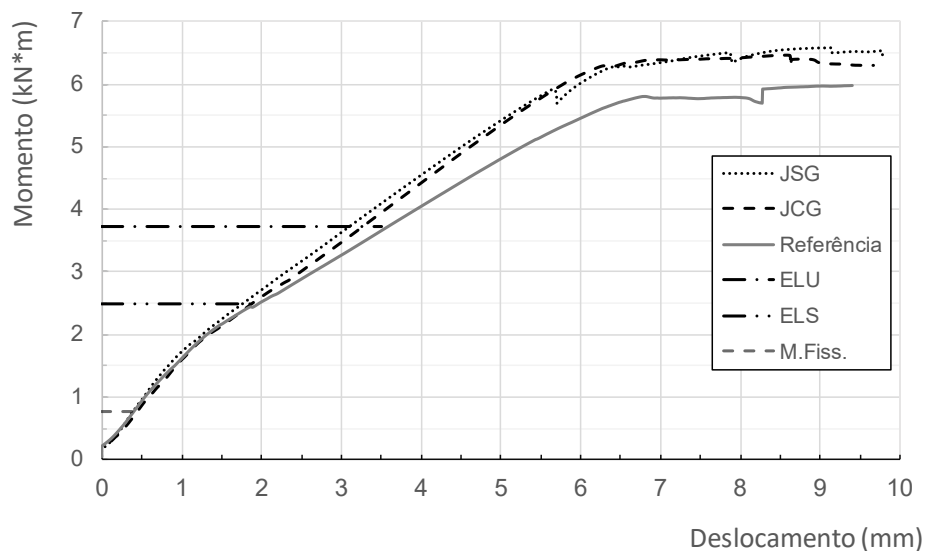
Figura 4. Posicionamento das vigas para ensaio de flexão



3 Resultados e discussão

A Figura 5 apresenta a evolução da deformação média dos grupos frente ao momento máximo atuante durante o ensaio de flexão. São destacadas na figura as linhas referentes aos momentos de dimensionamento dos estados limite e de fissuração, limite do Estádio 1, a partir do qual não ocorre mais o comportamento linear-elástico.

Figura 5. Momento máximo versus deslocamento vertical no centro do vão



Observa-se, na Figura 5, que a evolução das deformações é semelhante para todos os grupos até ser atingido o estado limite de serviço, a partir do qual começa a existir diferenciação entre o grupo de referência e aqueles com junta fria, sendo que estes últimos seguem semelhantes durante todo o ensaio.

A Tabela 4 apresenta os valores médios de resistência à compressão axial aos 28 dias dos concretos utilizados na confecção das vigas.

Tabela 4. Resistência à compressão axial do concreto aos 28 dias

Grupo	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desv. Padrão (MPa)	Coef. Var. (%)
REF	25,5	22,7	3,05	13,45
JSG	19,4			
JCG	23,1			

Após a realização dos ensaios foram calculadas as médias dos valores de deslocamento observados em cada grupo para as condições de carregamento do estado limite de serviço e estado limite último, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Deformação das vigas no ELS e ELU

Estado Limite de Serviço (ELS)										
Deformação (mm)				Resultados ANOVA						
	REF	JSG	JCG	SQ	GL	MQ	F	valor-P	Fc	Efeito significativo
	2,07	1,67	1,90	0,16	3	0,05	1,49	0,3552	9,55	NÃO
DP	0,21	0,09	0,17	Nota: SQ = Soma Quadrada; GL = Graus de liberdade; MQ = Média quadrada; F = Valor calculado de F; Valor – P = Nível de significância; Fc = F Crítico; Se $p < 5\%$ e $F_c < F$, o efeito é significativo, considerando o intervalo de confiança de 95%.						
CV	10,14	5,39	8,95							
DMS	0,74		Diferença Mínima Significativa							
Estado Limite de último (ELU)										
Deformação (mm)				Resultados ANOVA						
	REF	JSG	JCG	SQ	GL	MQ	F	valor-P	Fc	Efeito significativo
	3,73	3,42	3,30	0,387	3	0,1290	0,7442	0,3552	9,552	NÃO
DP	0,26	0,31	0,18	Nota: SQ = Soma Quadrada; GL = Graus de liberdade; MQ = Média quadrada; F = Valor calculado de F; Valor – P = Nível de significância; Fc = F Crítico; Se $p < 5\%$ e $F_c < F$, o efeito é significativo, considerando o intervalo de confiança de 95%.						
CV	6,85	9,06	5,45							
DMS	1,14		Diferença Mínima Significativa							

No conjunto de vigas avaliadas, houve variação na deformação devido a presença da junta fria. No ELS, as vigas com junta fria sem supergraute (JSG) apresentaram uma deformação, em média, 19,32% menor do que o grupo de referência. Já o grupo das vigas com junta fria tratadas com supergraute (JCG), as deformações foram 8,21%, em média, menores do que as vigas de referência. Já no ELU, as deformações nas vigas do grupo JSG e JCG, apresentaram deformações 8,31% e 11,53% menores, em média, do que o grupo das vigas sem junta fria, respectivamente.

Embora tenha-se percebido variação na deformação das vigas em função da presença das juntas frias, essas variações não interferiram significativamente no comportamento das mesmas. Tanto no ELS, quanto no ELU, o valor F é menor do que o F crítico (Fc), portanto não há variação significativa entre as amostras avaliadas. O teste Tukey aponta resultados similares, ou seja, nenhuma diferença entre as deformações médias das vigas com junta fria (sem e com supergraute) e das vigas de referência, são maiores do que a diferença mínima significativa. Tanto no ELS quanto no ELU.

Apesar de ser observada uma pequena redução no deslocamento dos grupos JSG e JCG em relação à referência, pode-se inferir com base na análise de variância que, em ambos os estados limite, não houve variação significativa entre as deformações dos grupos analisados, uma vez que o valor do parâmetro F foi inferior ao F-crítico em ambos os casos.

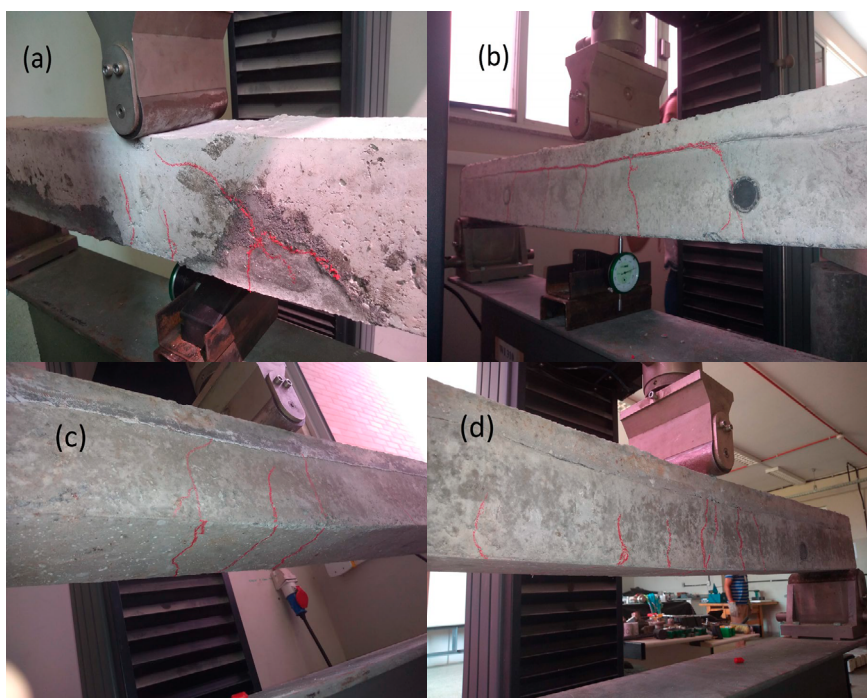
De acordo com os parâmetros de aceitabilidade sensorial da Tabela 13.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014), o deslocamento limite para as vigas estudadas é de 2,85mm.

Observa-se que, sob condições de serviço (ELS), todos os grupos apresentaram deformação inferior ao limite, denotando pouca influência da junta fria horizontal executada no comportamento do elemento estrutural.

Observou-se ao longo do ensaio de flexão uma sensível mudança na evolução da fissuração entre as vigas de referência e aquelas com junta fria. A Figura 6 apresenta com destaque as fissuras observadas em alguns dos elementos de cada grupo. No grupo de referência, as fissuras originaram-se na parte inferior da região central do elemento, propagando verticalmente em direção ao ponto de aplicação da carga. Comportamento similar foi observado para o grupo JCG. O grupo JSG apresentou comportamento diferenciado, a fissuração iniciou-se de maneira semelhante ao grupo de referência, mas, ao atingir a junta fria, teve rápida propagação horizontal ao longo da mesma. Tal comportamento aponta para uma eficiência do supergraute como material de união na junta fria, buscando reestabelecer a monoliticidade do elemento estrutural, em detrimento da simples escarificação do concreto antigo.

Cabe destacar que a avaliação da origem e propagação das fissuras foi visual, e assim, não foi possível mensurar as dimensões ou a interferência do provável comprometimento da monoliticidade da peça na durabilidade da estrutura. Reflexão sobre o avanço diferenciado da propagação microscópica da fissura pode ser feito por meio da penetração de gases ao longo das microfissuras originadas a partir do estado limite de serviço, de forma similar ao trabalho realizado por Yoo e Kwon (2016). A Figura 6 apresenta a propagação das fissuras nas vigas sem junta fria (a), com junta fria, mas sem supergraute (b) e vigas com junta fria, mas com a interface tratado com supergraute (c) e (d).

Figura 6. Fissuração nas vigas após ensaio de flexão



4 Conclusões

Com base nos resultados observados e na análise de variância pode-se observar que o comportamento mecânico das vigas não sofreu variação significativa com a execução da junta fria horizontal em 2/3 de sua altura, independentemente do método de tratamento utilizado durante a execução da junta. Além disso, pode-se concluir que:

- ♦ A existência da junta fria horizontal não afetou o desempenho das vigas frente às solicitações do estado limite de serviço com base nos parâmetros de aceitabilidade da NBR 6118 (ABNT, 2014).
- ♦ Houve sensível variação no comportamento de propagação das fissuras no grupo onde o tratamento da junta fria foi apenas a escarificação do concreto antigo, sinalizando que o uso de argamassa supergraute na interface de algum modo minimizou a fragilidade da zona de transição entre concreto novo e antigo, o que pode ter impactos significativos no que diz respeito à durabilidade do elemento estrutural.
- ♦ O grupo com junta fria tratada com argamassa supergraute teve comportamento similar ao grupo de referência no que diz respeito ao surgimento e evolução das fissuras. Evidenciando que, mesmo com a execução da junta fria, foi possível reestabelecer parcialmente o desempenho do elemento estrutural.

Agradecimentos

Agradecemos ao LABOTEC, da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), pela gentil colaboração nas rupturas dos corpos de prova de concreto.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). *NBR 5738: Versão Corrigida: 2016: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). *NBR 12655: concreto de cimento Portland: Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). *NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). *NBR NM 67: Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). *NBR NM 53: Agregado graúdo: Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). *NBR NM 45: Agregado: Determinação de massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- CHOI, Se-Jin *et al.* Analysis technique on water permeability in concrete with cold joint considering micro pore structure and mineral admixture. *Advances in Materials Science and Engineering*, v. 2015, 2015.
- FERNANDES, D.V. *Estudo da aderência de barras de aço coladas ao concreto com resina epóxi*. 160p. Dissertação (mestrado), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- KISHEN, JM Chandra; RAO, P. Subba., Fracture of cold jointed concrete interfaces. *Engineering fracture mechanics*, v. 74, n. 1-2, p. 122-131, 2007.
- LEE, H.; JANG, H.; CHO, K. Evaluation of bonding shear performance of ultra-high-performance concrete with increase in delay in formation of cold joints. *Materials*, v. 9, n. 5, p. 362, 2016.
- KOYANKIN A.A., BELETSKAYA V.I., GUZHEVSKAYA A.I. Vliyanie shva betonirovaniya na rabotu konstruktsii [The Influence of Concrete Joints on the Structural Behavior]. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*, no. 3, p. 76-81, 2014.
- RATHI, V. R.; KOLASE, P. K. Effect of cold joint on strength of concrete. *International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology*, v. 2, n. 9, p. 4671-4679, 2013.
- ROY, B.; LASKAR, A. I. Cyclic behavior of in-situ exterior beam-column subassemblies with cold joint in column. *Engineering Structures*, v. 132, p. 822-833, 2017.

SOUZA, R. H.; TAVARES, M. E.; FERNANDES, D. V. Avaliação da aderência de Barras de Aço Coladas ao Concreto com Resina Epóxi. *RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal*, v. 11, n. 3, 2018.

TORRES, A. *et al.* Comportamiento mecánico de juntas frías lisas de concreto. *Revista ingeniería de construcción*, v. 31, n. 3, p. 151-162, 2016.

YANG, H. *et al.* Time and cold joint effect on chloride diffusion in concrete containing GGBFS under various loading conditions. *Construction and Building Materials*, v. 167, p. 739-748, 2018.

YOO, S.; KWON, S. Effects of cold joint and loading conditions on chloride diffusion in concrete containing GGBFS. *Construction and Building Materials*, v. 115, p. 247-255, 2016.