6
Considerações finais

Foram apresentadas a fundamentação teórica para a análise e determinação da rigidez e resistência de ligações semirrígidas viga-coluna mistas, bem como uma metodologia de ensaios para a análise da parcela mista dessa ligação. Foi considerado como modelo inicial uma ligação aparafusada com placa de extremidade, utilizando-se o preconizado pelo *Eurocode* 3 (1993) e *Eurocode* 4 (2001).

Considerando-se o desenvolvido inicialmente por Ramires (2010) para o estudo dos parâmetros principais a serem analisados neste tipo de ligação, foram realizados novos ensaios de laboratório, para suplementar aos ensaios já produzidos por Ramires (2010), possibilitando assim uma maior amostragem de dados para a análise dos resultados obtidos. Para esses ensaios, foram simulados os seguintes elementos: laje de concreto, barras de armadura, conectores de cisalhamento, perfil da viga e a interação entre eles.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921385/CA

6.1.
Conclusões

O desenvolvimento do ensaio de *pull out* e a incorporação das modificações que se mostraram necessárias durante o desenvolvimento das duas Séries (2010 e 2014) foi realizado de modo satisfatório. A criação de um sistema de travamento, com vários níveis, permitiu a execução dos ensaios, de forma a facilitar as diversas montagens e desmontagens necessárias para a realização de todos os ensaios. Para atender as resistências de cada ensaio, algumas modificações de perfis e barras redondas foram necessárias, permitindo que os ensaios prosseguissem.

Foram produzidos ensaios nos materiais utilizados, de forma a permitir a confirmação dos valores utilizados para sua caracterização.

A execução de pré-ensaios realizado por Ramires (2010) auxiliou a melhor avaliação dos pontos apresentados durante a execução dos ensaios, o que permitiu ajustes antes dos ensaios principais, diminuindo possíveis falhas. A melhoria dos ensaios subsequentes de *pull out* realizados para a Série S2014

incorporou uma redundância de medições de força ao sistema, permitindo verificar possíveis desequilíbrios.

A melhoria dos ensaios realizados por Ramires (2010) apresentou bom resultado na comparação dos resultados obtidos, considerando a redundância de medições de força incorporadas ao sistema, permitindo verificar possíveis desequilíbrio. A calibração entre as células se mostrou satisfatório, permitindo fazer essa avaliação.

O posicionamento dos conectores de cisalhamento, levando em consideração ao geralmente usado nas ligações, apresentou eficiência na resistência à força cortante, solicitado pelo deslizamento entre a laje de concreto e o perfil metálico, considerando a solda dos conectores executada perfeitamente. As barras de armadura desempenharam um comportamento satisfatório, quando comparadas com a resistência à ancoragem, aumentando a rigidez e a resistência do ensaio.

As comparações entre os ensaios permitiram analisar as cinco variáveis estudadas, apesar de ter sido observado que mais de uma variável deveriam ser consideradas para essas análises: quantidade e diâmetro das barras, quantidade e espaçamentos dos conectores, e comprimento de ancoragem das barras.

Observou-se que as cargas obtidas nos ensaios experimentais abaixo do previsto podem ser atribuídas à transmissão desigual das forças sobre as lajes e a falha da solda dos conectores, objetivo de estudo desenvolvido. Se uma das lajes é sobrecarregada pode levar ao colapso prematuro de algum elemento não previsto.

As Séries S2010 e S2014 apresentaram modos de ruptura distintos ao previsto, incluindo-se a questão da falha da solda do conector. As falhas observadas durante os ensaios permitiu se produzir estudos em diferentes linhas, que possibilitaram melhor análise desse tipo de ensaios. Para os testes não modificados, cuja ruptura ocorreu devido a solda do conector, foi desenvolvido um modelo de ensaio para a análise da solda que serviu de base para verificação das pernas de solda dos conectores realizadas nos perfis dos ensaios.

Para os ensaios que foram modificados, pode-se estudar a tensão de arrancamento obtida, verificando-se os valores próximos obtidos entre os grupos de modo de ruptura estudados.

Em relação aos ensaios dos conectores, foi possível fazer a análise de diferentes pernas de solda, realizada por profissional qualificado, permitindo

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921385/CA

avaliar o atendimento dos valores teóricos previstos, e sua posterior comparação aos ensaios realizados com conectores que participaram dos testes principais, a fim de confirmar que suas resistências eram inferiores ao necessário para sua participação na execução do ensaio, garantindo desta forma que a modificação considerada para os ensaios foi pertinente. Percebeu-se que para alguns casos, as pernas de solda encontradas não seriam suficientes para resistir à solicitação prevista.

Com uma comparação entre os resultados obtidos para cada modo de ruptura e sua área de arrancamento, pode-se observar que com o aumento da área os valores de força também aumentam. Essa comparação é apresentada na Figura 6.1. Destaca-se que para a ruptura devido a barra de armadura não foi possível apresentar a linha de tendência dos pontos, uma vez que todos os ensaios desse modo tinham a mesma área de arrancamento.

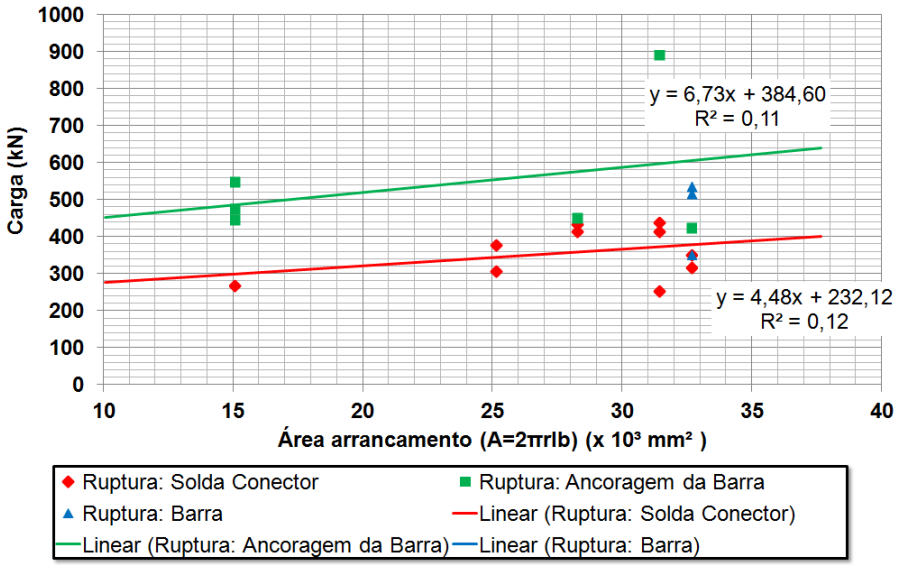

Figura 6.1 – Gráfico carga *versus* área de arrancamento.

6.2. Contribuições do trabalho

O Apêndice A apresenta o resumo dos ensaios desenvolvidos, bem como o resumo dos resultados obtidos.

Pode-se citar como contribuições do trabalho a análise dos resultados obtidos para os modelos estudados, com a comparação dos valores de força e tensão e o estudo dos conectores e perna de solda. Com os resultados satisfatórios obtidos, pode-se continuar o estudo sobre a questão, com o

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921385/CA

desenvolvimento de novos ensaios, para confirmar a hipótese apresentada. O tratamento dos dados obtidos, nas Séries S2010 e S2014 contribuiu para a verificação desses dados.

A combinação dos efeitos ajuda no entendimento da contribuição revelada por meio do caminho da transmissão de solicitações, onde cada componente é interpretada, mostrando sua real contribuição para o sistema de transmissão e sua parcela de contribuição para a resistência e rigidez (Ramires, 2010). Em alguns casos, a interferência das componentes envolvidas pode ser observada por meio dos resultados alcançados.

Em relação a instrumentação, com a inclusão de duas redundâncias de medição de força, foi possível avaliar possíveis rotações do sistema, melhorando os resultados obtidos, devido a maior confiança nesses. A calibração do sistema, com a comparação dos resultados, possibilitou uma melhor convergência para os valores obtidos, tendo sido observada nos gráficos que apresentam seus resultados.

O estudo da influência e perna da solda também permitiu uma melhor análise desse elemento, bem como a confirmação da falha da solda nos ensaios realizados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921385/CA

6.3. Sugestões para trabalhos futuros

Com os ensaios realizados, percebe-se a necessidade da evolução dos testes propostos, aumentando as séries a serem estudadas, uma vez que os resultados teóricos apresentaram valores distintos ao experimental. O estudo do confinamento do concreto também se faz necessário.

A análise de ensaios em escala real para analisar um maior número de componentes da ligação poderá ser uma consequência desses ensaios, o que permitiria analisar a ligação completa e suas variáveis.

No decorrer da execução dos ensaios, foi possível levantar melhorias para o processo, que facilitarão o desenvolvimento de trabalhos futuros, tais como:

- A ordem de execução dos ensaios deve ser estudada, para que os resultados relativos a cada componente posso já ter sido realizado, antes da análise do conjunto. Desta forma, a análise da solda dos conectores deve ser incorporado como análise preliminar ao ensaio

principal, devendo ser realizada, para confirmação da resistência da solda, pelo mesmo profissional que executará as demais soldas.

- O desenvolvimento de modelos menores, que estudem as componentes individualizadas, como realizado para os conectores, permitirá uma melhor análise do conjunto, uma vez que são conhecidos os parâmetros individuais.
- A preparação individual de cada ensaios, através de sua concretagem, solda dos conectores e demais elementos, permitirá uma maior facilidade de inclusão das observações realizadas no ensaio anterior. Por exemplo, a concretagem de todos os ensaios em uma única vez facilita o pedido do concreto, mas caso esse apresente algum problema, poderá comprometer todo os testes produzidos.
- Devem ser estudos as soldas dos conectores, possibilitando a verificação de possíveis falhas antes da concretagem. Percebeu-se pelos ensaios desenvolvidos a dificuldade com relação a esta solda, e a necessidade de ter maior certeza que o elemento irá resistir as cargas previstas. Opções como soldar mais conectores no próprio ensaios, para verificar, através de aplicação de força sobre o conector, sua resistência, pode ser uma das alternativas.
- Para os próximos ensaios a serem desenvolvidos, as séries a serem incorporadas devem considerar a alteração de apenas um dos parâmetros estudados, o que permitirá uma análise mais consistente do impacto de cada parâmetro no sistema.
- Estudar a rigidez da barra de armadura, para verificação dos valores do EC4, bem como possíveis considerações das componentes do concreto que hoje não são consideradas.
- A fim de melhorar a contribuição do estudo, e permitir uma análise paramétrica, o modelo de elementos finitos poderá ser refinado, de forma a permitir um maior número de variáveis a serem consideradas na análise, uma vez que não foi alcançado o objetivo de construir um modelo de elementos finitos para os ensaios principais, com resultados coerentes.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921385/CA