

6

Resultados das Análises Experimentais

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos através dos ensaios experimentais realizados no laboratório de materiais da PUC-Rio, comentando cada um dos resultados.

A **Figura 6.1** abaixo representa o posicionamento padrão dos extensômetros e barras de armadura para os ensaios comentados nesse capítulo.

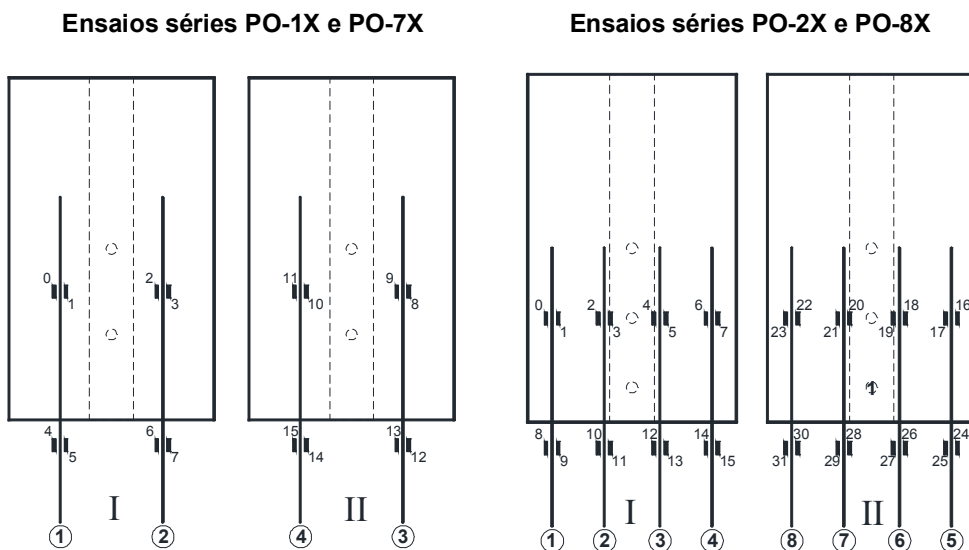


Figura 6.1 – Posicionamento padrão dos extensômetros e barras de armadura

São mostrados na **Figura 6.1** o posicionamento padrão dos extensômetros, localizados em cada uma das barras, e a numeração padrão das barras de armadura na parte inferior.

6.1

Ensaio da Série PO-1X

Foram criados grupos de extensômetros distribuídos nas linhas horizontais e verticais. Grupos também foram criados para diferenciar extensômetros internos e externos ao concreto.

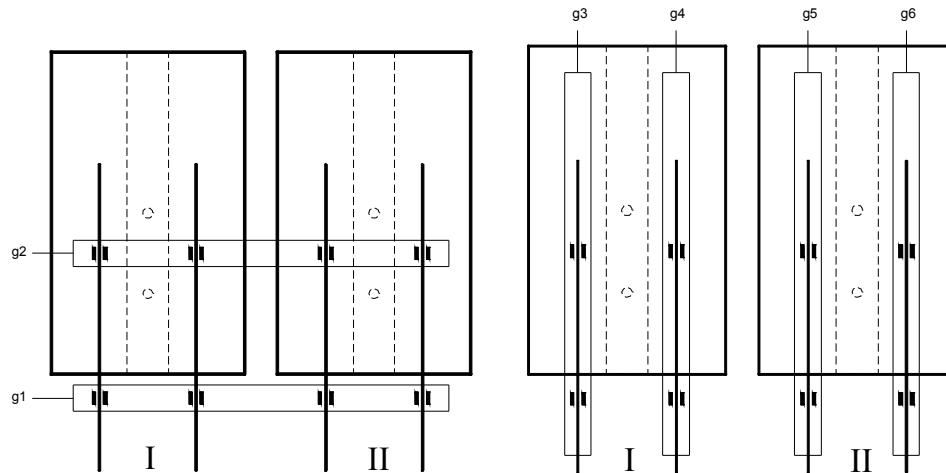


Figura 6.2 – Referência para análise de resultados

6.1.1

Ensaio PO-11

O ensaio PO-11 foi composto por duas barras de armadura principais de 16,0mm com um comprimento de ancoragem de 650,0mm em cada um dos lados da laje, lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3 e g4, e o lado II pelos grupos g5 e g6, com dois conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento, mais precisamente no lado 1. Os extensômetros dos grupos g3 e g4 apresentam o comportamento da ruptura desta solda, com uma carga igual a 319kN, sendo aplicada de forma convencional.

Abaixo, é apresentado e comentado cada um dos resultados obtidos neste ensaio.

6.1.1.1

Extensômetros Elétricos

Na **Figura 6.2** é apresentada uma visão geral da instrumentação utilizada.

No gráfico apresentado na **Figura 6.3** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1, que se localiza na faixa horizontal fora da laje de concreto. Este grupo apresenta os resultados ou comportamentos durante todo o ensaio sem a influência do acréscimo de rigidez da laje de concreto, servindo de base para comparação

com todas as outras análises. Os extensômetros restantes estavam imersos na laje de concreto.

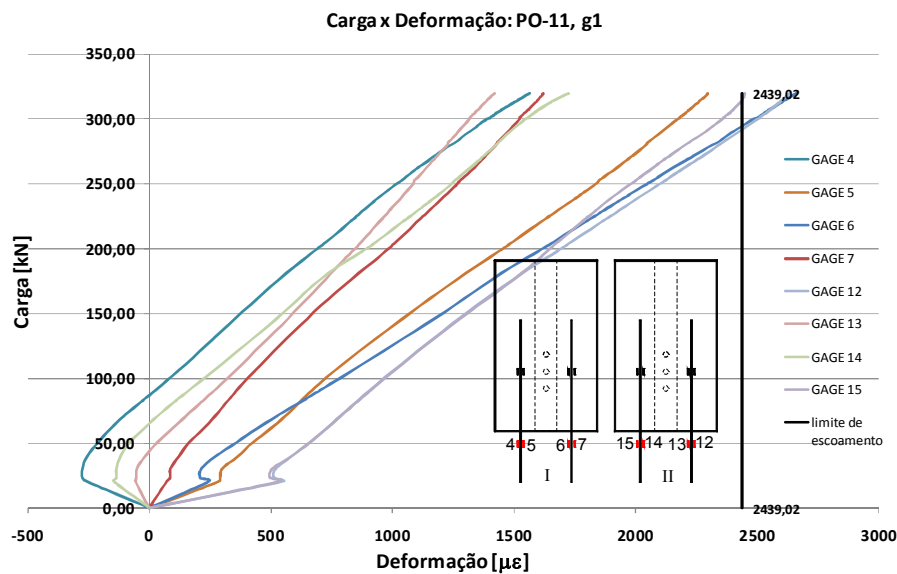


Figura 6.3 – Gráfico carga x deformação do grupo g1.

No gráfico apresentado na **Figura 6.4** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g2, que se encontram imersos no primeiro nível da laje de concreto.

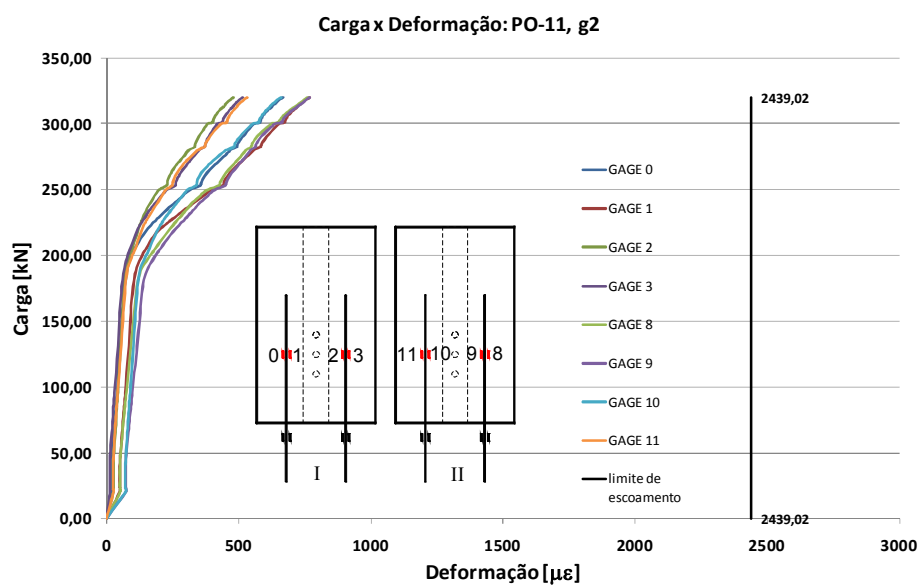


Figura 6.4 – Gráfico Carga x deformação do grupo g2.

No gráfico apresentado na **Figura 6.5** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g3, que se localizam na barra vertical número 1 que está imersa na laje de concreto.

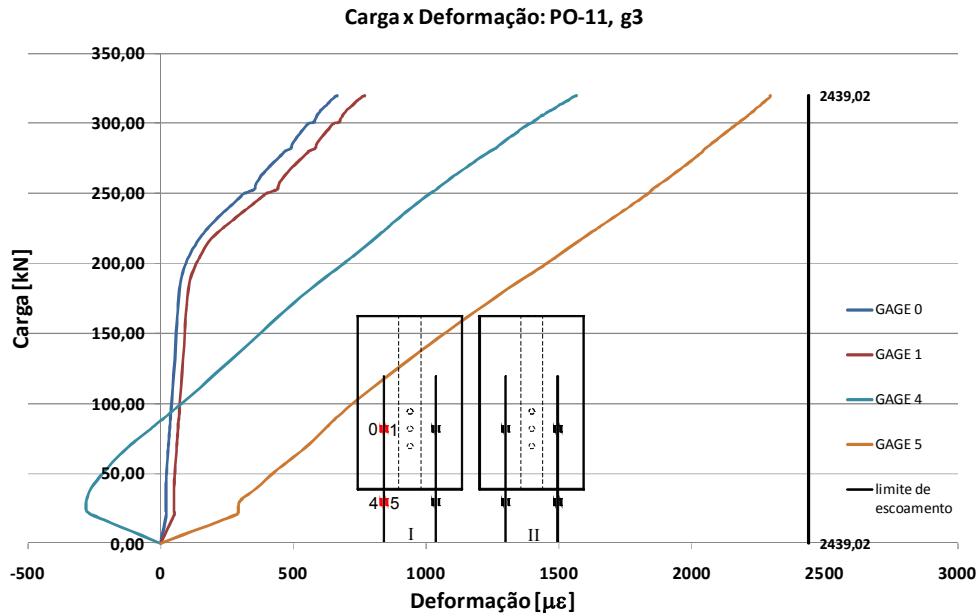


Figura 6.5 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

É comum observar o desenvolvimento da carga aplicada e seus estágios de comportamento, onde ocorre claras evidências do escoamento do aço, e início da ruptura. Na **Figura 6.5** pode ser notado que nos extensômetros 0 e 1 apresentam o início do escoamento entre o trecho de carga de 180 e 250 kN, onde ocorre um aumento na deformação com relação ao trecho inicial. Este gráfico apresenta visivelmente as características apresentadas pela **Figura 2.12**, onde são comparados os comportamentos sob tração de barras de aço envolvidas e não envolvidas por concreto.

Seguindo abaixo nos gráficos apresentados pelas **Figura 6.6**, **Figura 6.7** e **Figura 6.8** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g4, g5 e g6 respectivamente.

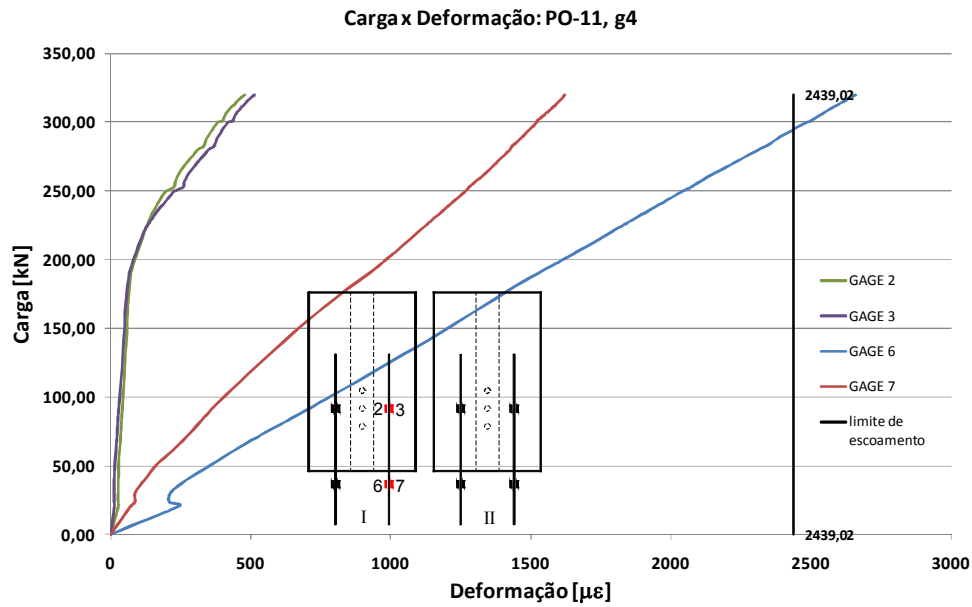


Figura 6.6 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

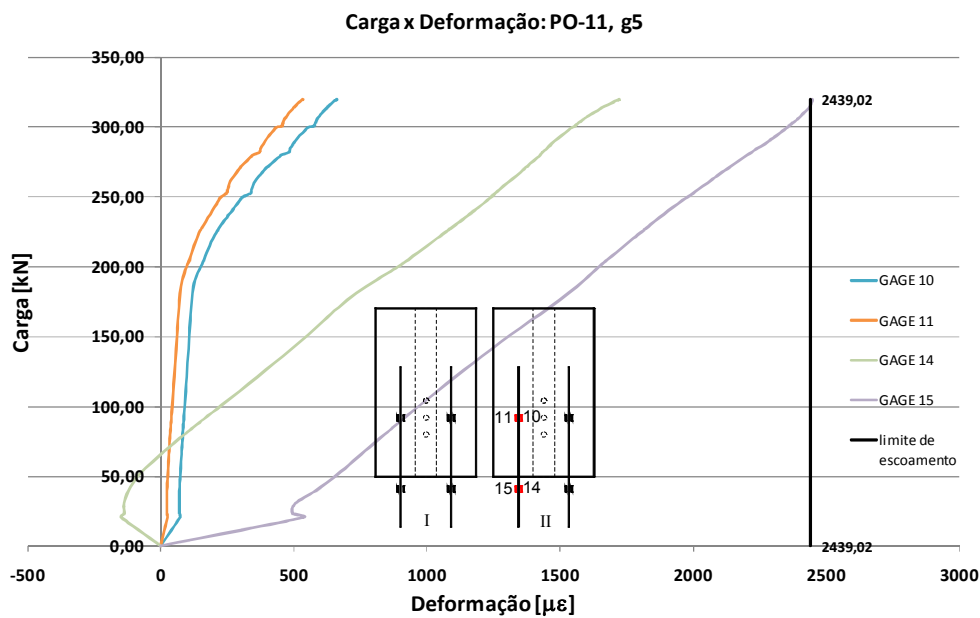


Figura 6.7 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

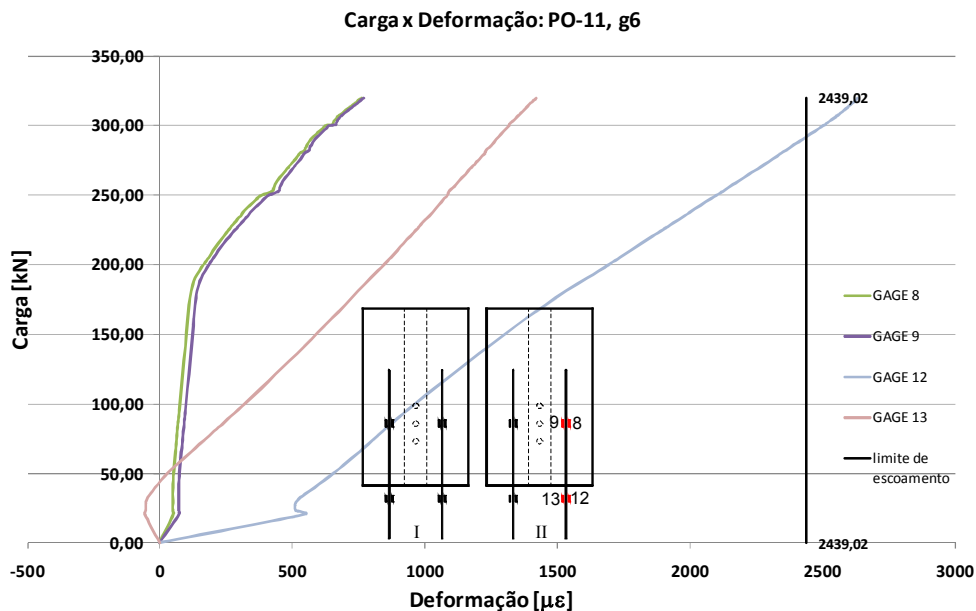


Figura 6.8 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

6.1.1.2

LVDT's

A **Figura 6.9** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, relembrando que a ruptura da solda dos conectores ocorreu no lado I.

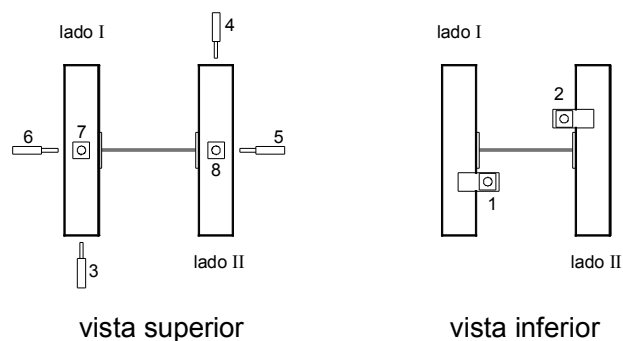


Figura 6.9 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.10** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que mediram o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto. Os LVDT's 7 e 8 apresentam os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medidos na porção superior das lajes

de concreto. O comportamento do LVDT 8 demonstra claramente o lado onde ocorreu a ruptura, devido ao seu deslocamento relativamente maior que o do LVDT 7.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.10**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

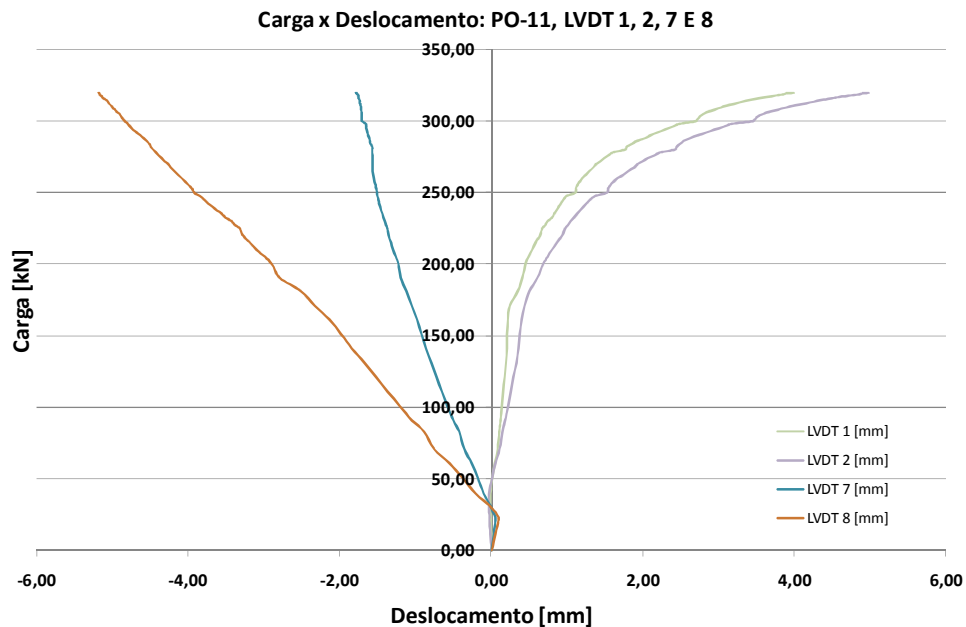


Figura 6.10 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's 1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.11** apresenta as curvas carga versus deslocamento dos LVDT's 3 e 4 relativos aos deslocamentos laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto. Os LVDT's 5 e 6 apresentam os deslocamentos laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto. O comportamento do LVDT 6 apresenta o lado onde ocorreu a ruptura.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.11**, combinam os resultados obtidos nas leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

Os gráficos das **Figura 6.10** e **Figura 6.11** apresentam nitidamente o lado 1 das lajes onde ocorreu a ruptura da solda dos conectores, podendo-se observar os LVDT's 6 e 8, onde os deslocamentos são muito maiores que dos demais LVDT's do grupo instalado.

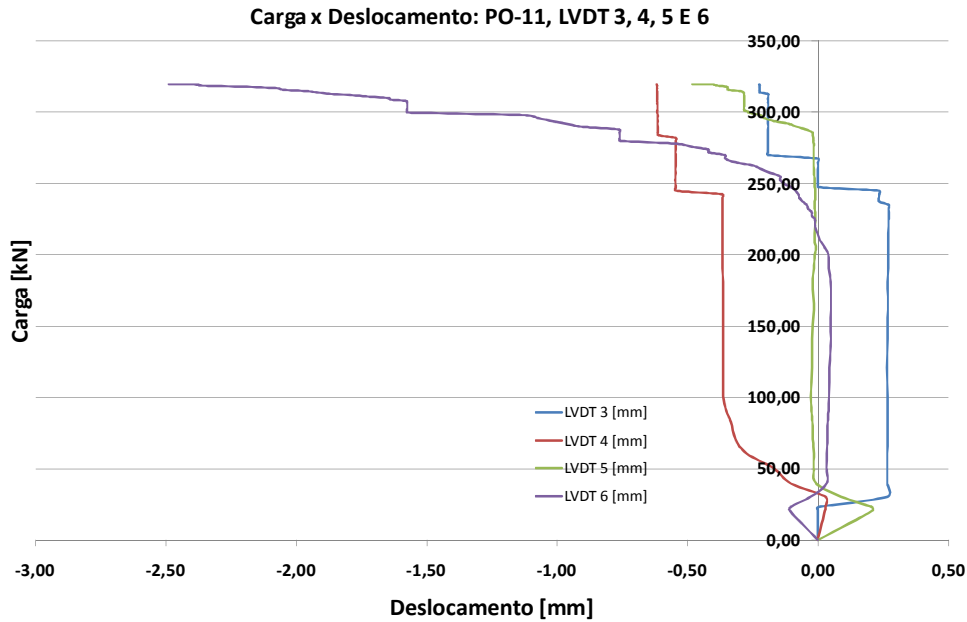


Figura 6.11 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.1.2

Ensaio PO-12

O ensaio PO-12, foi composto por duas barras de armadura principais de 16,0mm com um comprimento de ancoragem de 650,0mm em cada um dos lados da laje, denominados lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3 e g4, e o lado II pelos grupos g5 e g6, com dois conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento, mais precisamente no lado 2. Os grupos g5 e g6 apresentam o comportamento da ruptura desta solda, com uma carga igual a 384kN, sendo aplicada de forma convencional.

Abaixo, são apresentados e comentados cada um dos resultados obtidos neste ensaio.

6.1.2.1

Extensômetros Elétricos

No gráfico apresentado na **Figura 6.12** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1, que se localiza na faixa horizontal fora da laje de concreto. Este grupo apresenta os resultados ou comportamentos durante todo o ensaio sem a influência do acréscimo de rigidez da laje de concreto, servindo de base para comparação com todas as outras análises, os extensômetros restantes estavam imersos na laje de concreto.

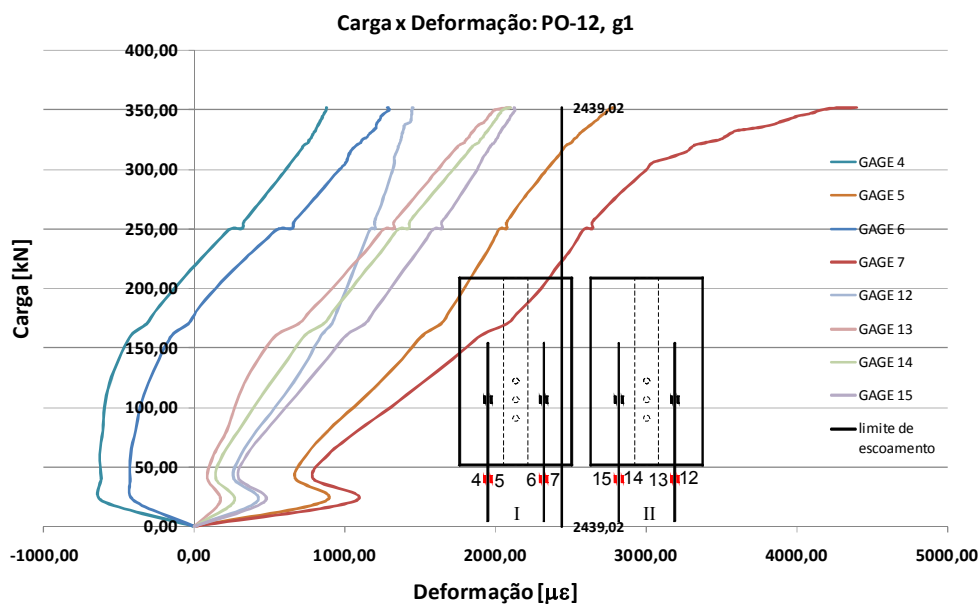


Figura 6.12 – Gráfico carga x deformação do grupo g1.

No gráfico apresentado na **Figura 6.13**, pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g2, que se encontram imersos no primeiro nível da laje de concreto.

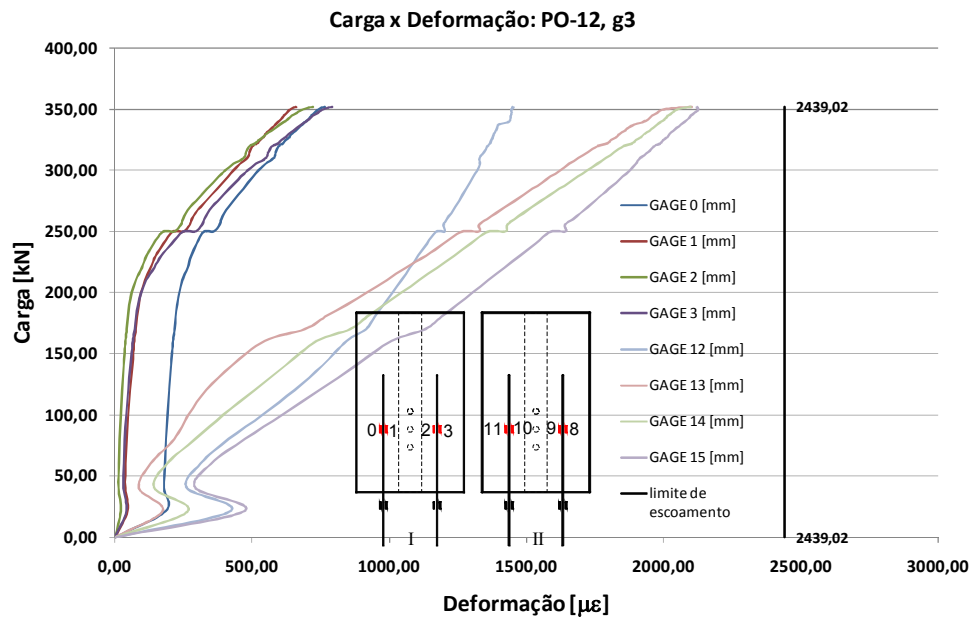


Figura 6.13 – Gráfico Carga x deformação do grupo g2.

Nos gráficos apresentados nas **Figura 6.14**, **Figura 6.15**, **Figura 6.16** e **Figura 6.17**, pode ser observado o comportamento *carga x deformação* dos diversos grupos de extensômetros.

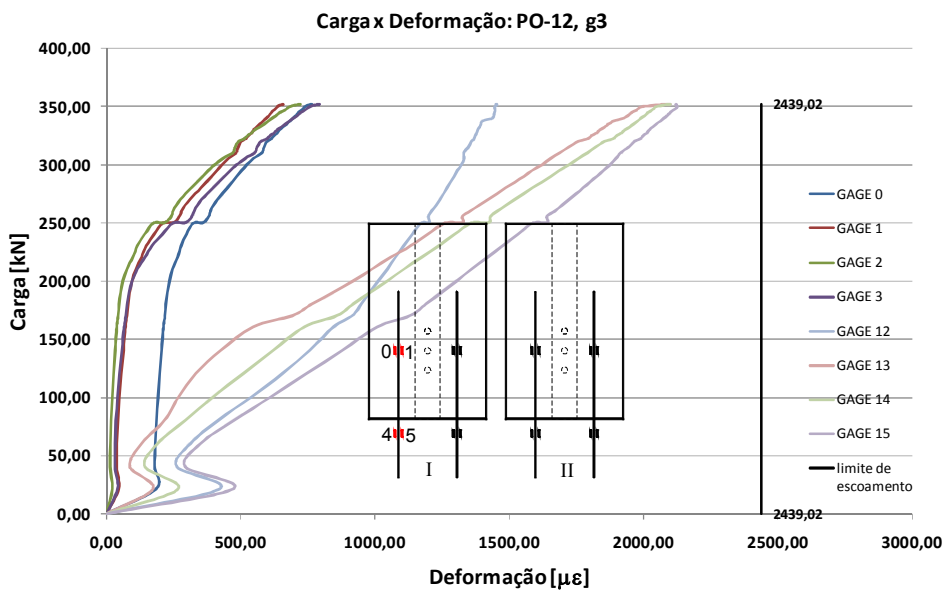


Figura 6.14 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

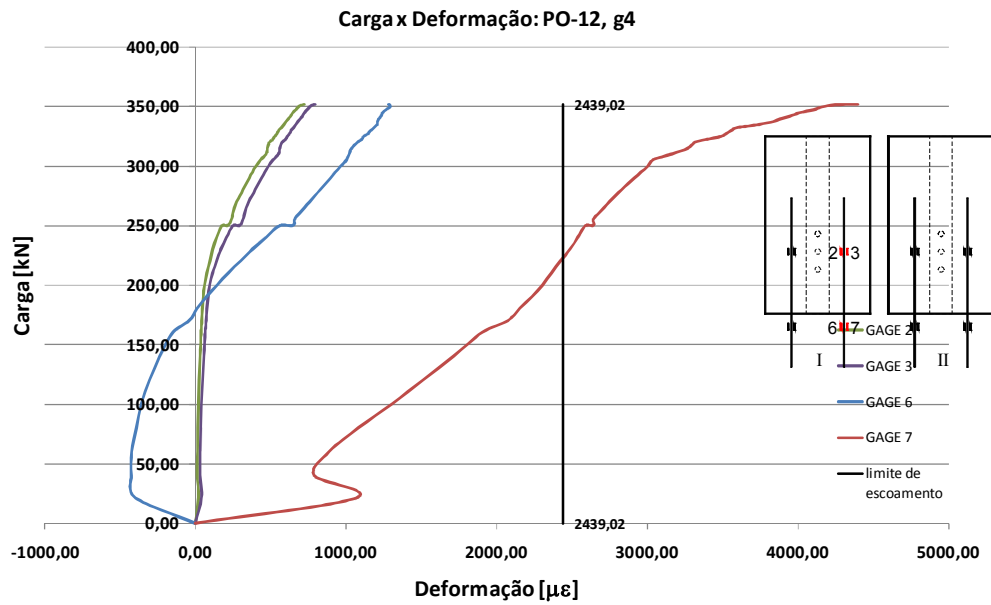


Figura 6.15 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

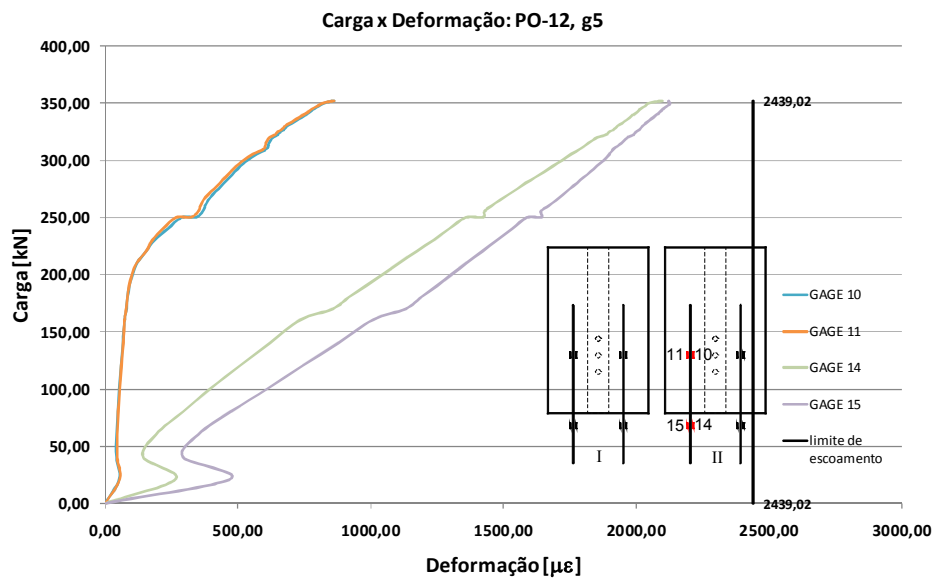


Figura 6.16 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

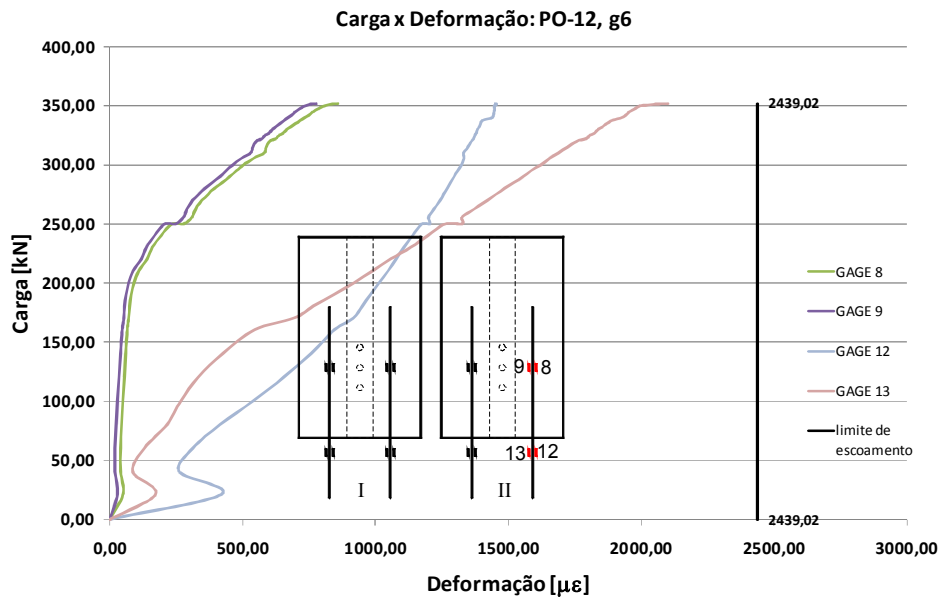


Figura 6.17 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

6.1.2.2

LVDT's

A **Figura 6.18** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando que a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento no lado II.

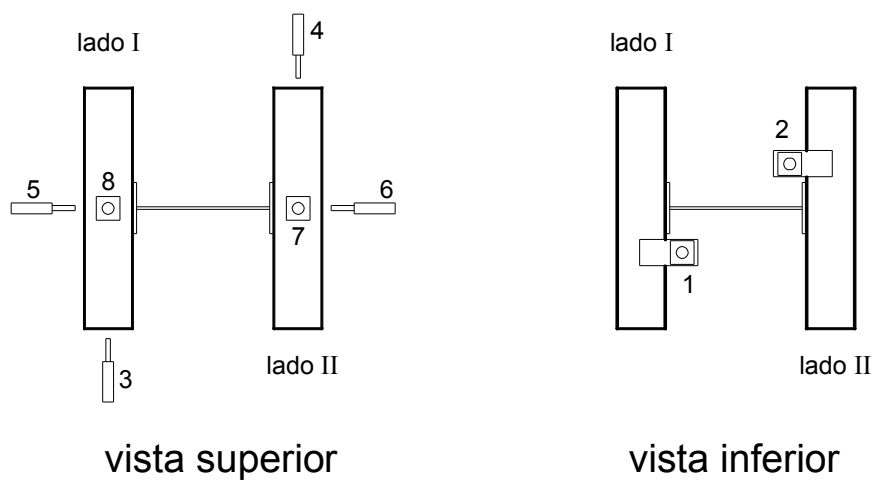


Figura 6.18 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.19** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto, também apresenta a curva do deslocamentos dos LVDT's 7 e 8, sendo medidos na porção superior das lajes de concreto.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.19**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

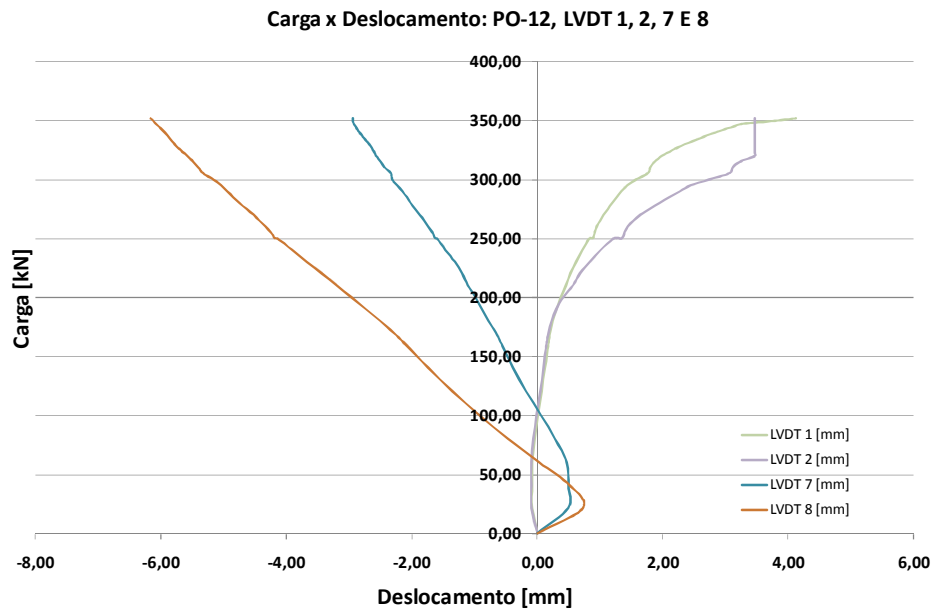


Figura 6.19 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.20** apresenta as curvas carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 relativos aos deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto. Juntamente na **Figura 6.20** é apresentada a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 5 e 6 apresentam os deslocamentos laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.20**, combinam os resultados obtidos nas leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

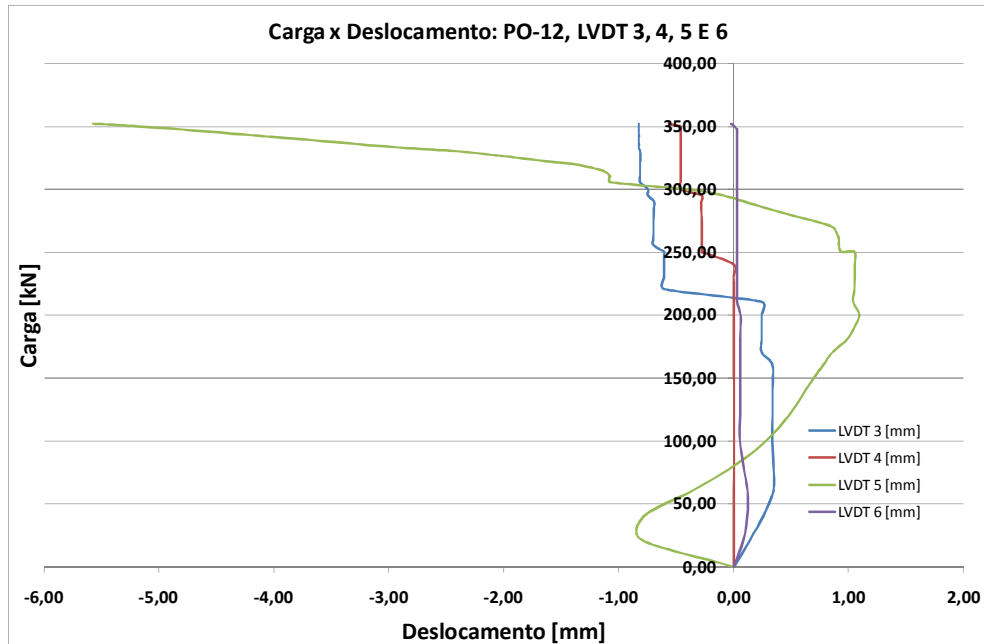


Figura 6.20 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.1.3

Ensaio PO-13

O ensaio PO-13 foi composto por duas barras de armadura principais de 16,0mm com um comprimento de ancoragem de 650,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, como lado I representado pelos grupos g3 e g4, e o lado II pelos grupos g5 e g6, com dois conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. Para evitar a constante falha na solda do conector de cisalhamento, neste ensaio buscou-se uma alternativa estrutural de modo a obter novos resultados no sentido de determinar novos modos possíveis de ruptura. Estas modificações foram comentadas no capítulo anterior e podem ser observadas na **Figura 5.68**, na qual consistia em modificar o ponto de aplicação da carga através da utilização de perfis metálicos apoiados sobre as lajes de concreto, evitando a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento. O colapso ocorreu com a ruptura a tração da barra número 4 da armadura, mais precisamente no lado 2. Os grupos g1 e g5 apresentam o comportamento da ruptura desta barra, com uma carga igual a 516kN.

6.1.3.1

Extensômetros Elétricos

No gráfico apresentado na **Figura 6.21**, **Figura 6.22**, **Figura 6.23** e **Figura 6.24** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g3, g4, g5 e g6 que se localizam na barra vertical número 1, 2, 3 e 4 respectivamente, que está parcialmente imersa na laje de concreto.

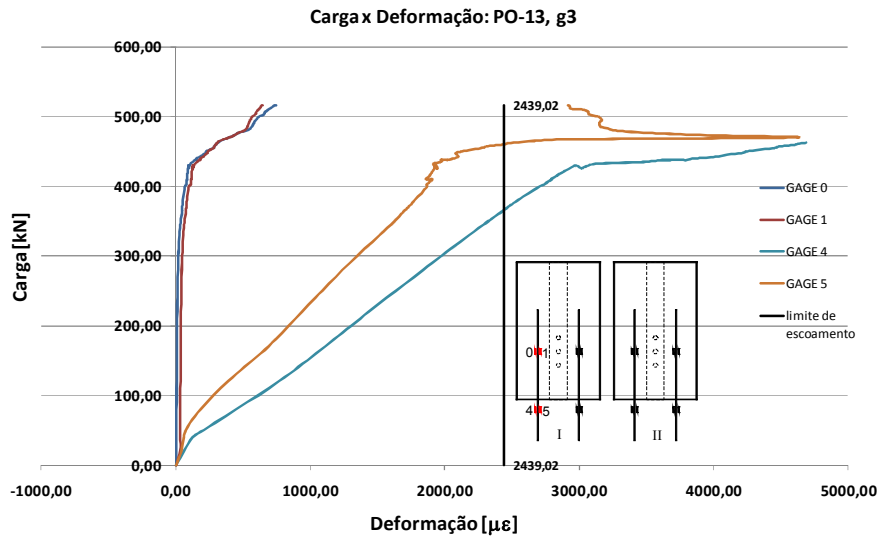


Figura 6.21 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

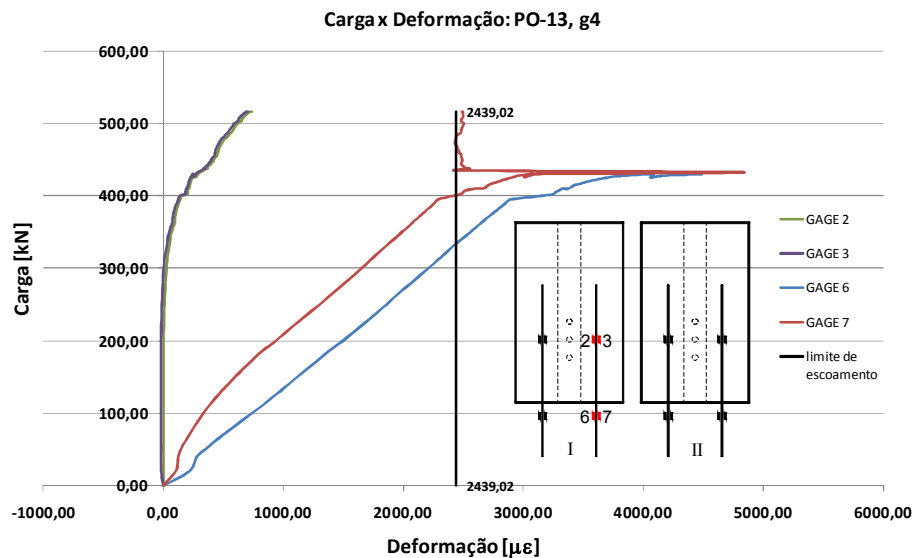


Figura 6.22 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

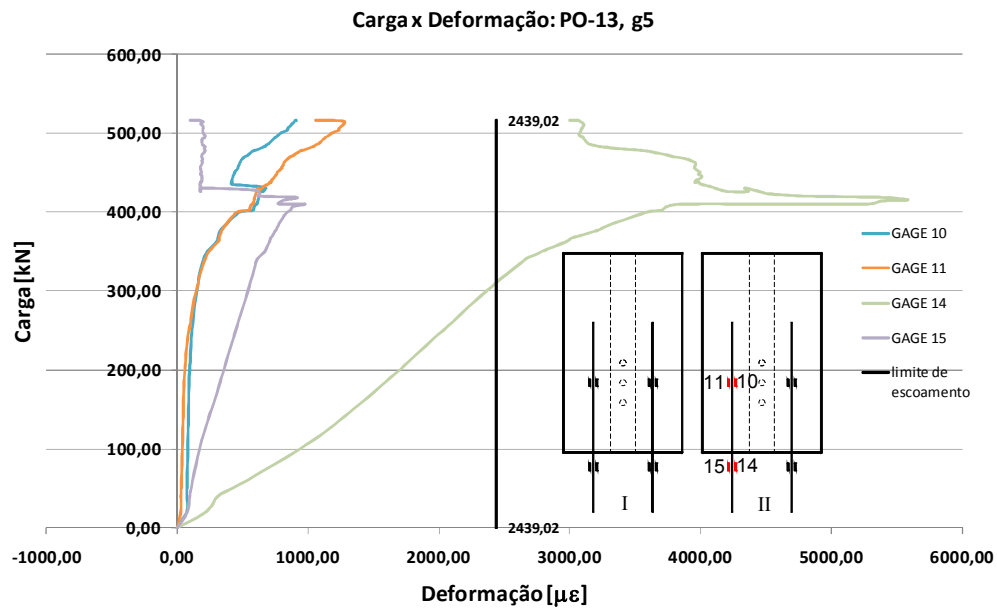


Figura 6.23 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

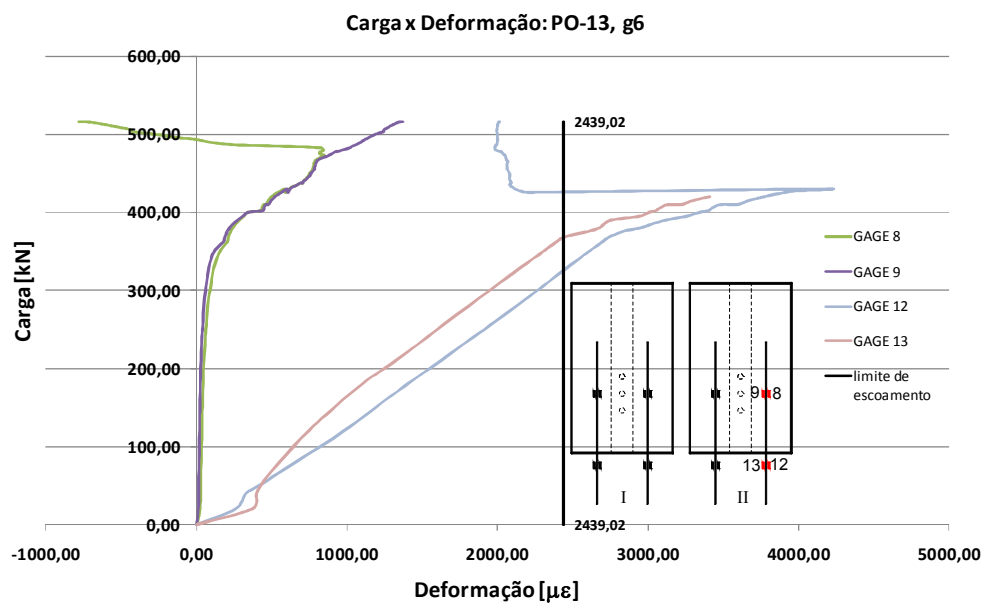


Figura 6.24 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

6.1.3.2

LVDT's

A **Figura 6.25** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando-se que a ruptura da barra de armadura ocorreu no lado II.

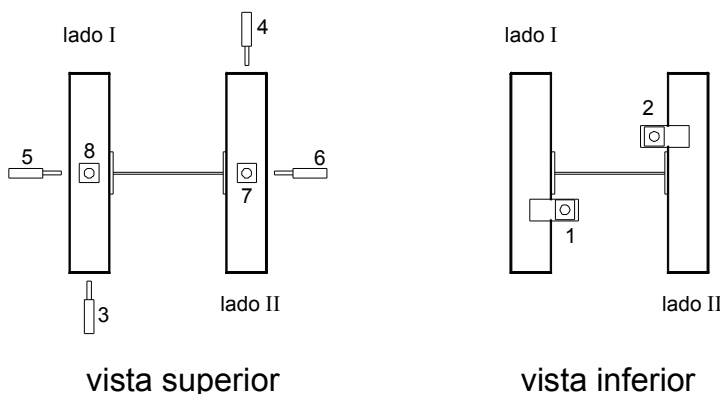


Figura 6.25 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.26** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto, indicando que não ocorreu deslizamento relativo entre laje de concreto e perfil metálico, de forma que somente a ancoragem e a resistência da barra de armadura resistiram as solicitações, ocorrendo a ruptura prevista, por tração da barra da armadura. Também é apresentada a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 7 e 8 onde os deslocamentos verticais do pull-out estão sendo medidos na porção superior das lajes de concreto. Nota-se após atingir 400kN as curvas apresentam o patamar de escoamento.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.26**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

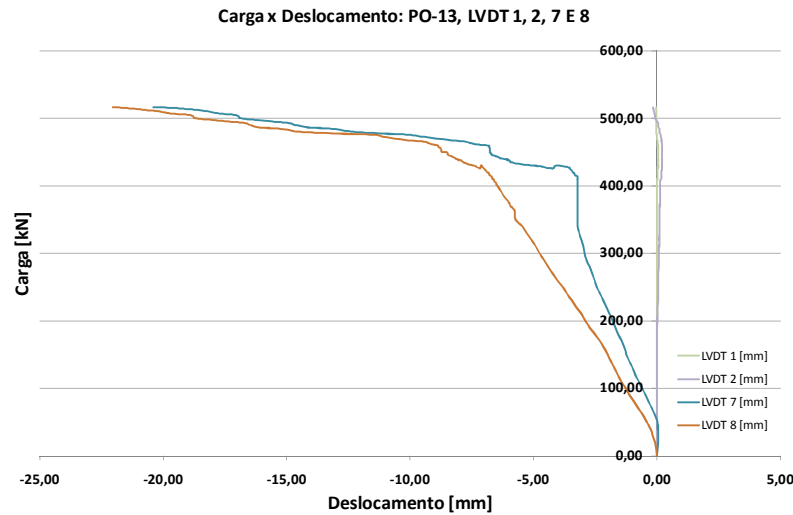


Figura 6.26 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.27** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto. Juntamente com a **Figura 6.27**, é apresentada a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 5 e 6 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto, **Figura 6.27**.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.27**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

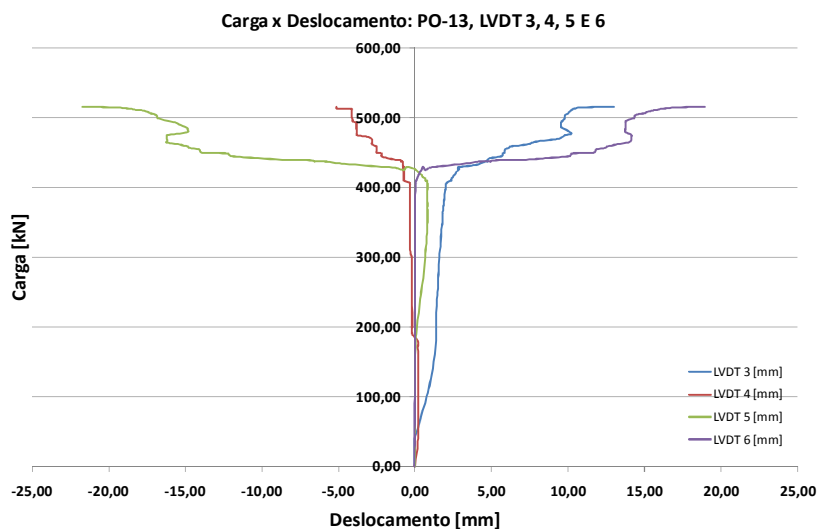


Figura 6.27 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.2

Ensaio da Série PO-2X

Na **Figura 6.28** é proporcionada uma visão geral do agrupamento da instrumentação utilizada.

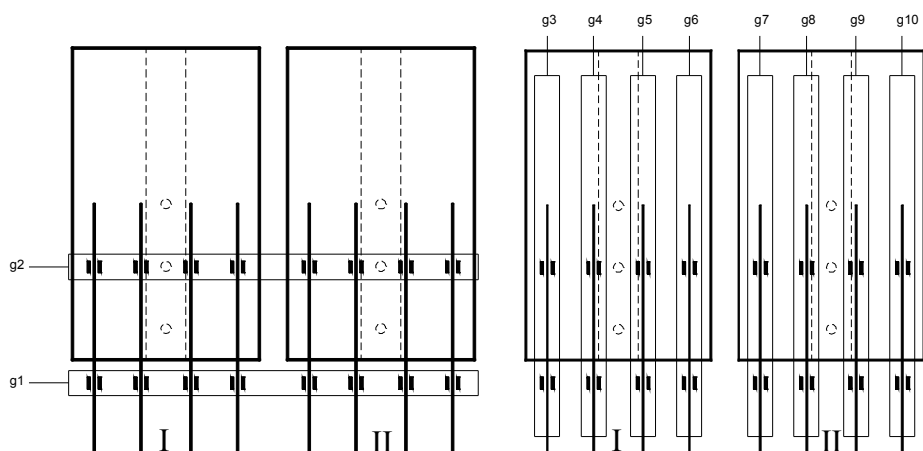


Figura 6.28 – Referência para análise de resultados

6.2.1

Ensaio PO-21

O ensaio PO-21, foi composto por 4 barras de armadura principais de 20,0mm com um comprimento de ancoragem de 500,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3 e g4, g5 e g6 e o lado II pelos grupos g7, g8, g9 e g10, com três conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a ruptura da solda de um dos conectores, mais precisamente no lado 1, com uma carga igual a 437,90kN, sendo aplicada de forma convencional.

6.2.1.1

Extensômetros Elétricos

No gráfico apresentado na **Figura 6.29** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1, que se localiza na faixa horizontal fora da laje de concreto. Este grupo apresenta os resultados ou comportamentos durante todo o ensaio sem a influência do

acréscimo de rigidez da laje de concreto, servindo de base para comparação com todas as outras análises. Nota-se que existe uma menor resistência inicial com relação aos ensaios com menor número de barras, pois com maior número de barras houve a necessidade de maior acomodação de toda a estrutura.

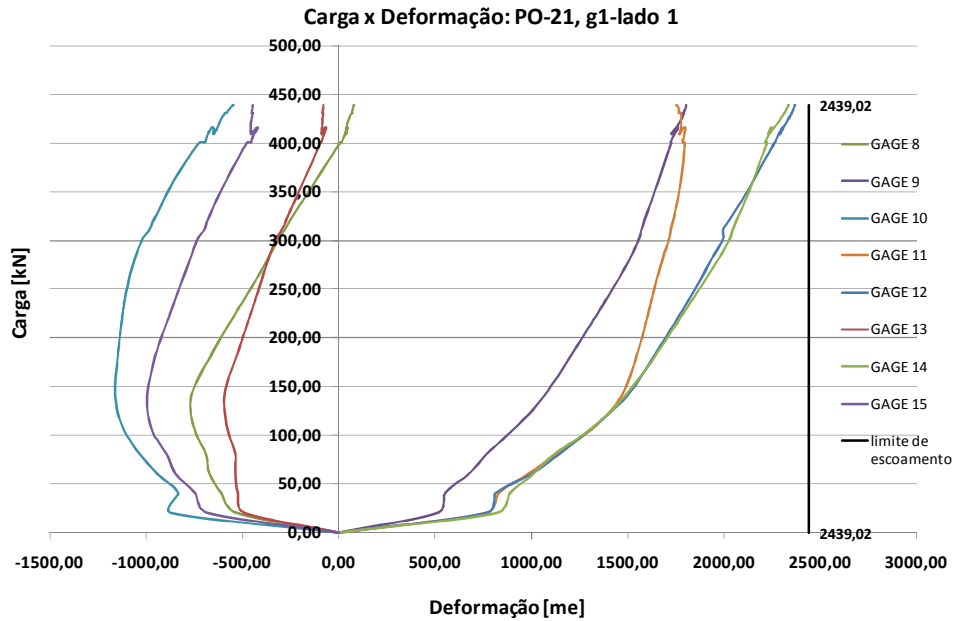


Figura 6.29 – Gráfico carga x deformação do grupo g1-lado 1.

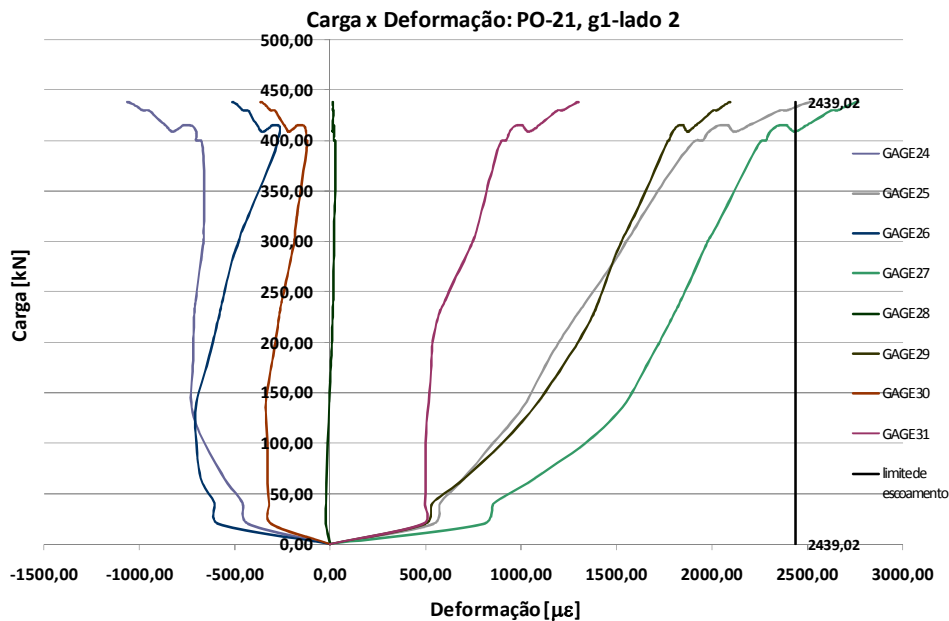


Figura 6.30 – Gráfico carga x deformação do grupo g1-lado 2.

No gráfico apresentado na **Figura 6.31**, **Figura 6.32**, **Figura 6.33**, **Figura 6.34**, **Figura 6.35**, **Figura 6.36**, **Figura 6.37** e **Figura 6.38** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros, que se localizam nas barras parcialmente imersas na laje de concreto. Visivelmente podem ser identificados os extensômetros que estão imersos no concreto e quais estão no lado externo a laje de concreto. A rigidez da laje de concreto contribui para a resistência a deformação da barra de armadura é muito superior a da porção da barra sem este acréscimo de rigidez.

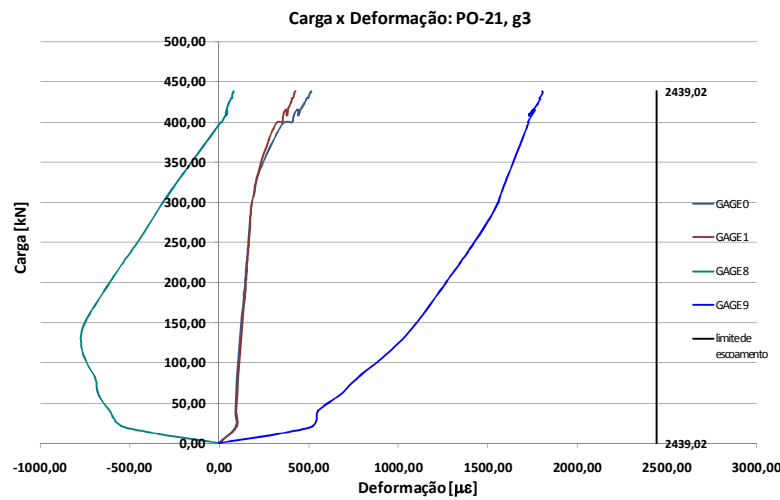


Figura 6.31 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

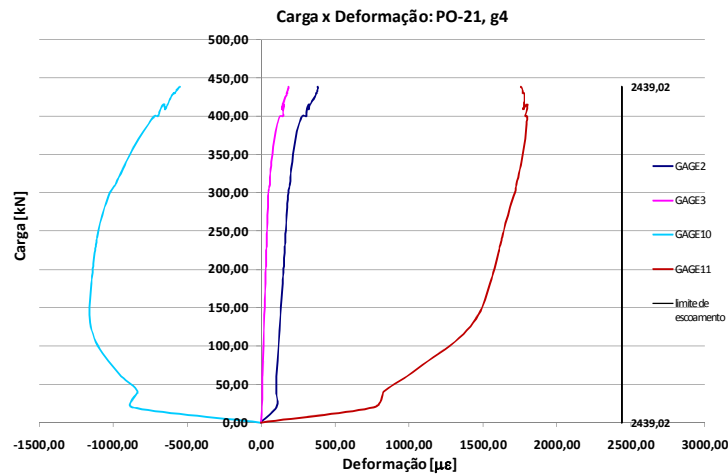


Figura 6.32 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

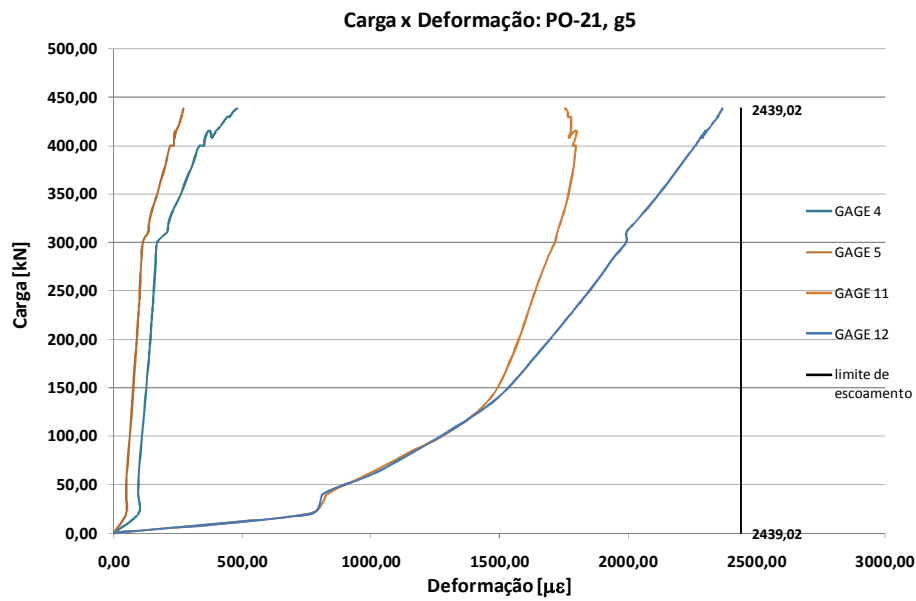


Figura 6.33 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

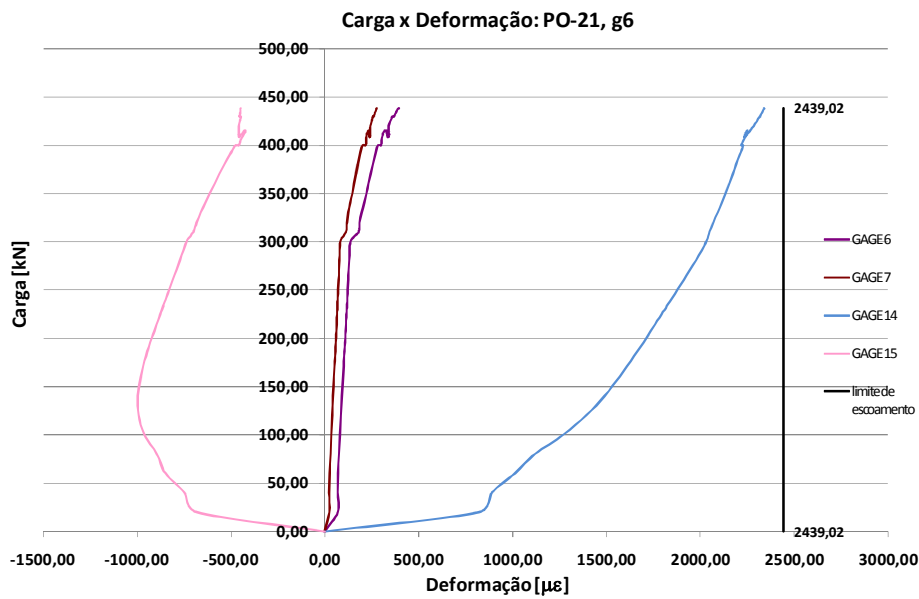


Figura 6.34 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

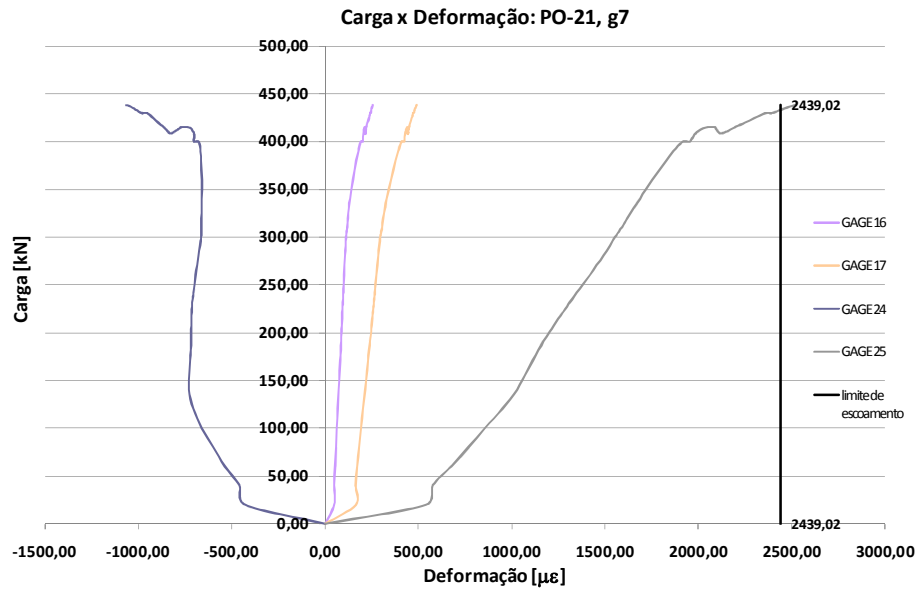


Figura 6.35 – Gráfico Carga x deformação do grupo g7.

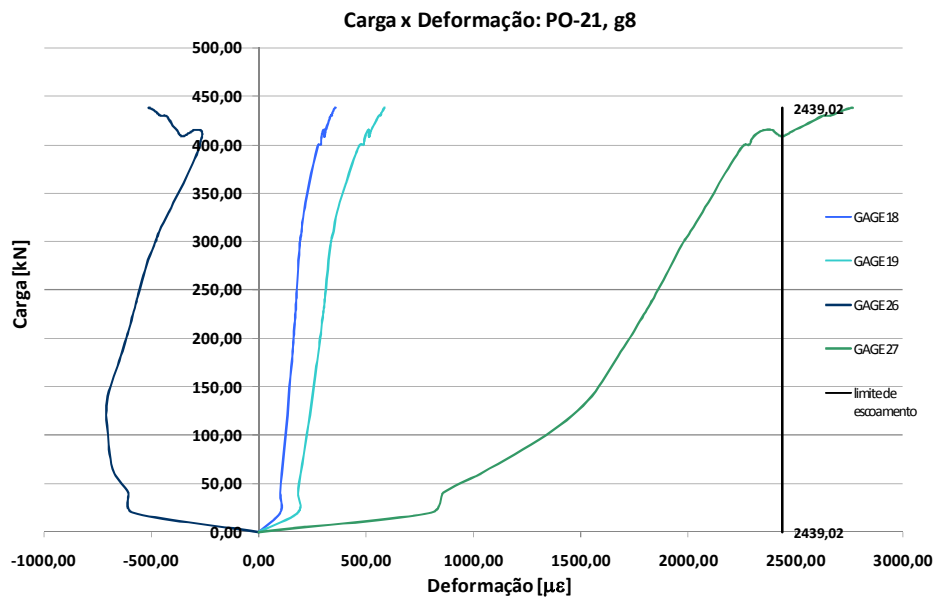


Figura 6.36 – Gráfico Carga x deformação do grupo g8.

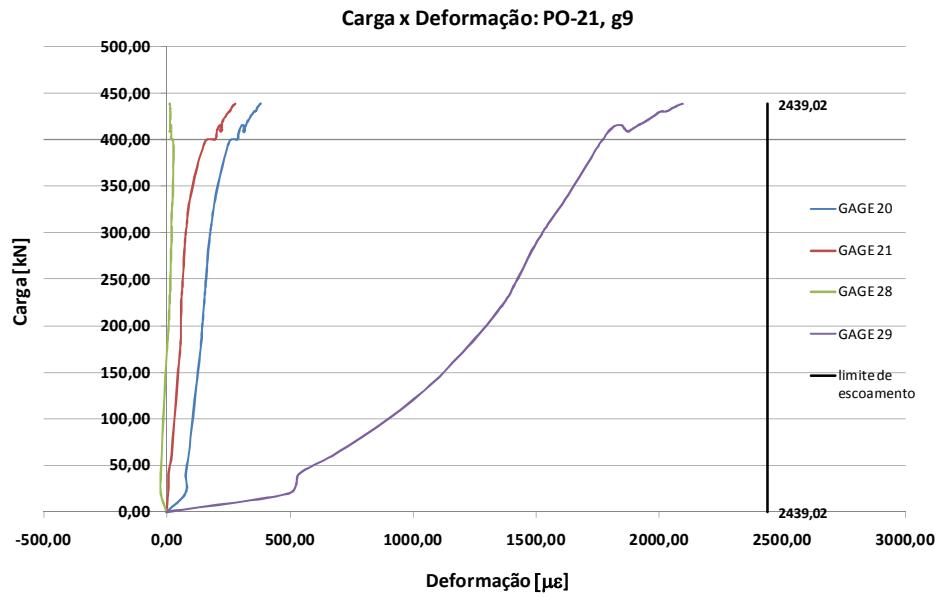


Figura 6.37 – Gráfico Carga x deformação do grupo g9.

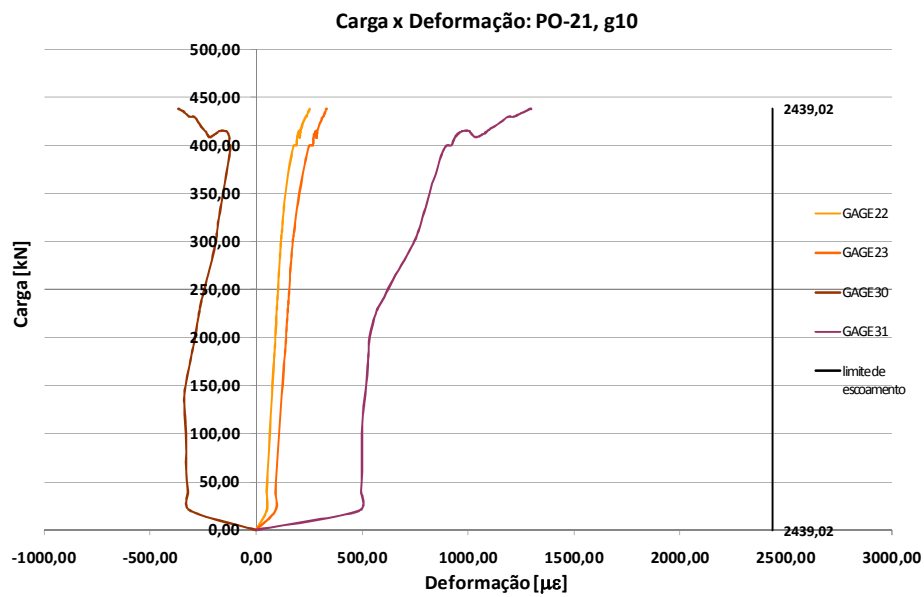


Figura 6.38 – Gráfico Carga x deformação do grupo g10.

6.2.1.2

LVDT's

A **Figura 6.39** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando-se que a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento ocorreu no lado I.

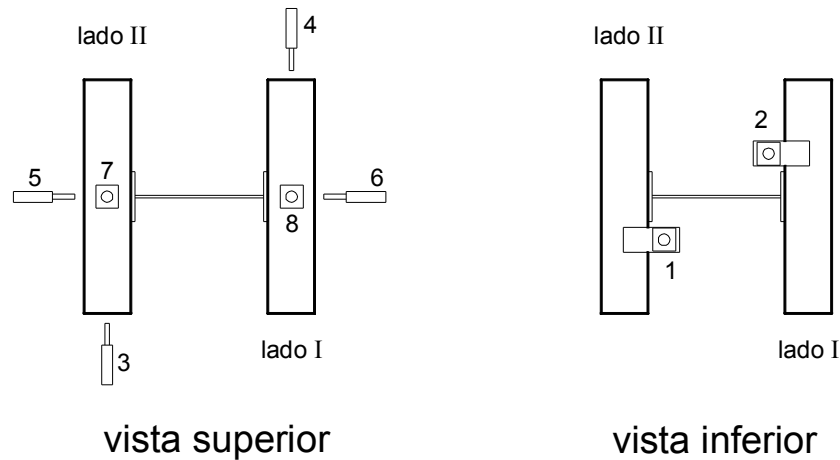


Figura 6.39 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.40** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto, juntamente com os LVDT's 7 e 8 apresentam os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medidos na porção superior das lajes de concreto, **Figura 6.40**.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.40**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

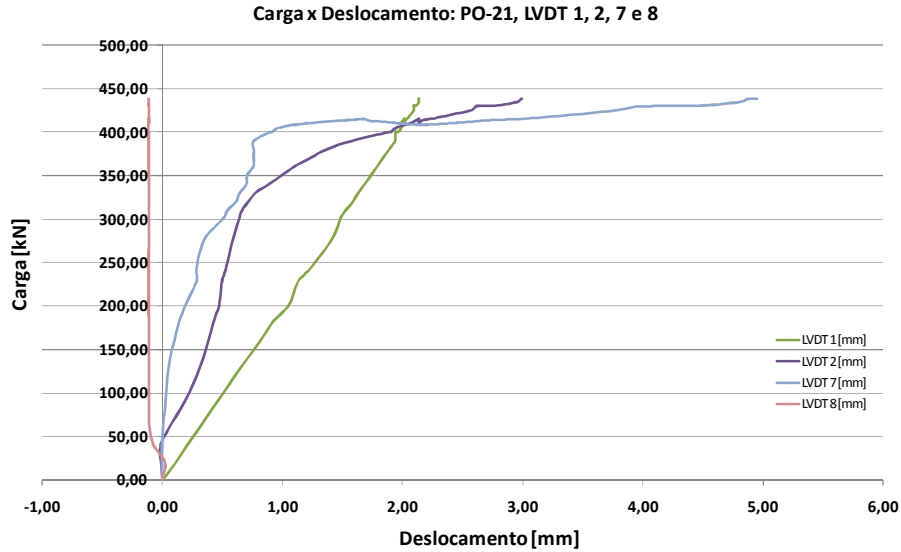


Figura 6.40 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.41** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto. Os LVDT's 5 e 6 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.41**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

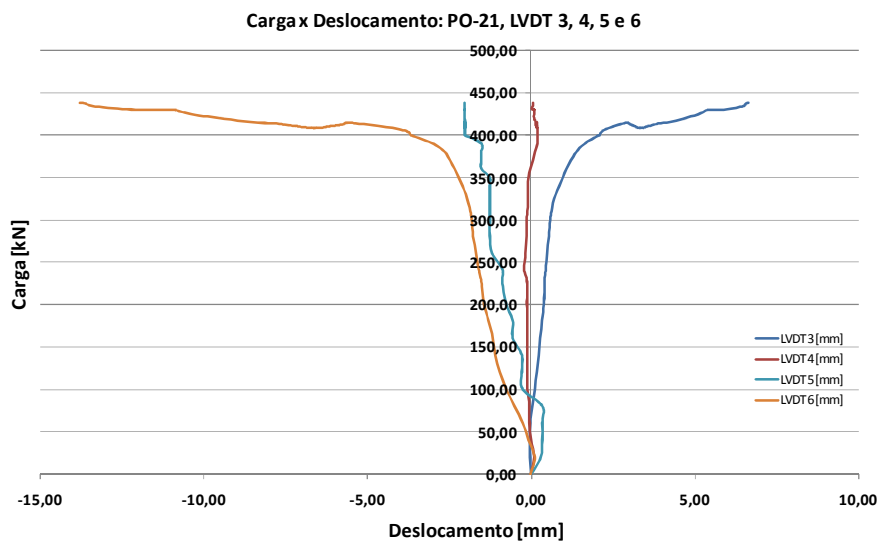


Figura 6.41 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.2.2

Ensaio PO-22

O ensaio PO-22, foi composto por 4 barras de armadura principais de 20,0mm com um comprimento de ancoragem de 500,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3 e g4, g5 e g6 e o lado II pelos grupos g7, g8, g9 e g10, com três conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a flambagem da alma do perfil principal, a carga de colapso atingiu 522,02kN, sendo aplicada de forma convencional.

6.2.2.1

Extensômetros Elétricos

No gráfico apresentado na **Figura 6.42** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1, que se localiza na faixa horizontal fora da laje de concreto. Este grupo apresenta os resultados ou comportamentos durante todo o ensaio sem a influência do acréscimo de rigidez da laje de concreto, onde nota-se que o extensômetro 12 ultrapassa a o limite de escoamento.

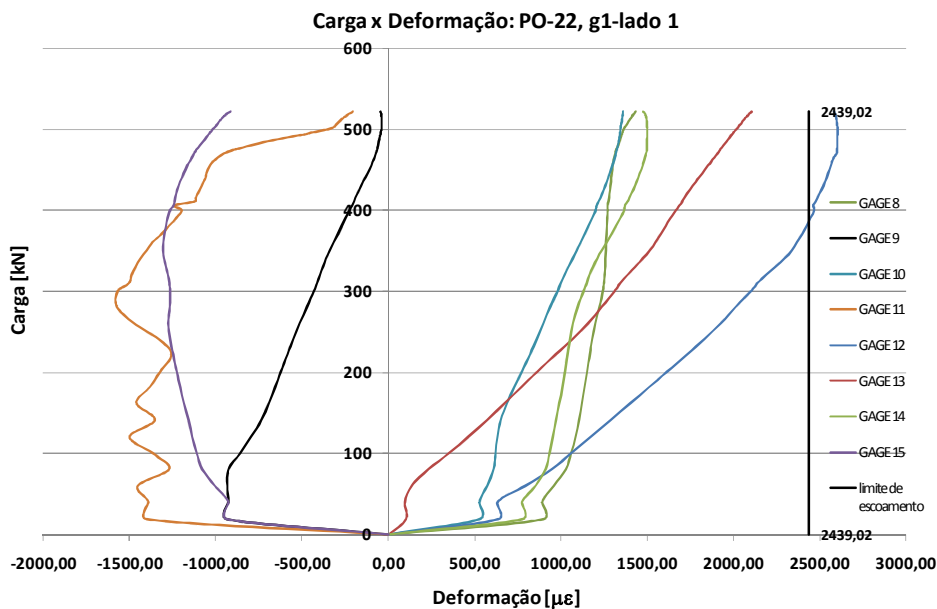


Figura 6.42 – Gráfico carga x deformação do grupo g1-lado 1.

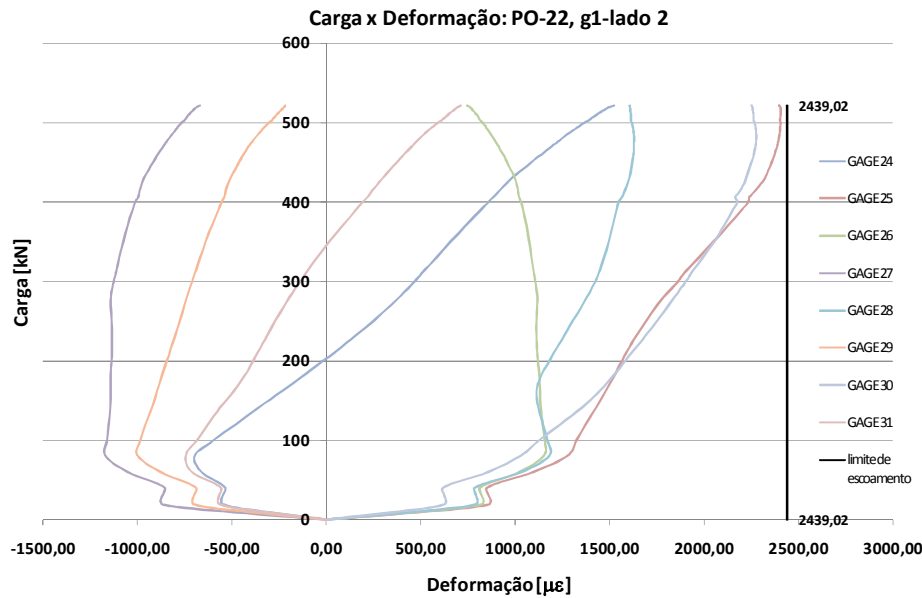


Figura 6.43 – Gráfico carga x deformação do grupo g1-lado 2.

No gráfico apresentado na **Figura 6.44** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g5, que se localizam na barra vertical número 3 que está imersa na laje de concreto, pode ser observado que o extensômetro 12 ultrapassa o limite de escoamento.

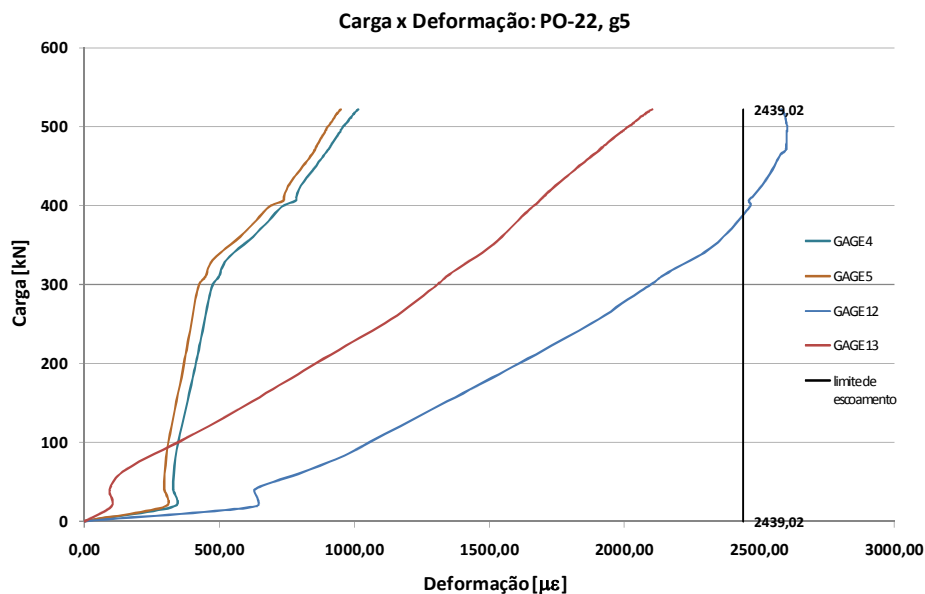


Figura 6.44 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

6.2.2.2

LVDT's

A **Figura 6.45** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando que ocorreu uma flambagem local da alma do perfil metálico.

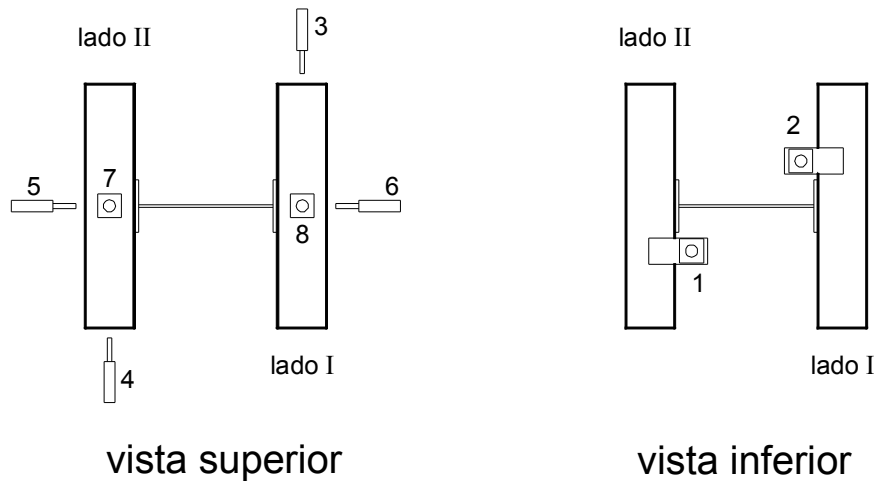


Figura 6.45 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.46** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto, podendo ser observado o comportamento do LVDT 1, o qual indica o lado onde encaminhava-se a ruptura do conector de cisalhamento, o qual era previsto.

Na **Figura 6.46** também é apresentada a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 7 e 8, os quais medem os deslocamentos verticais do pull-out na porção superior das lajes de concreto. O comportamento diferenciado do LVDT 8 indica o modo de ruptura que a estrutura estava tomando até a flambagem da alma do perfil principal, mostrando que a ruptura do conector de cisalhamento prevista, ocorreria no lado 2 do pull-out.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.46**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

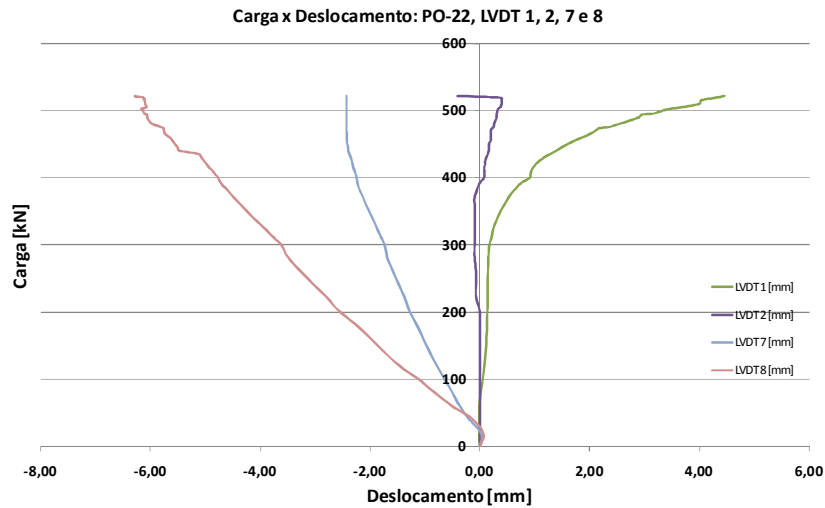


Figura 6.46 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.47** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 os quais medem os deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto, também é apresentado os deslocamento dos LVDT's 5 e 6, que apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.47**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

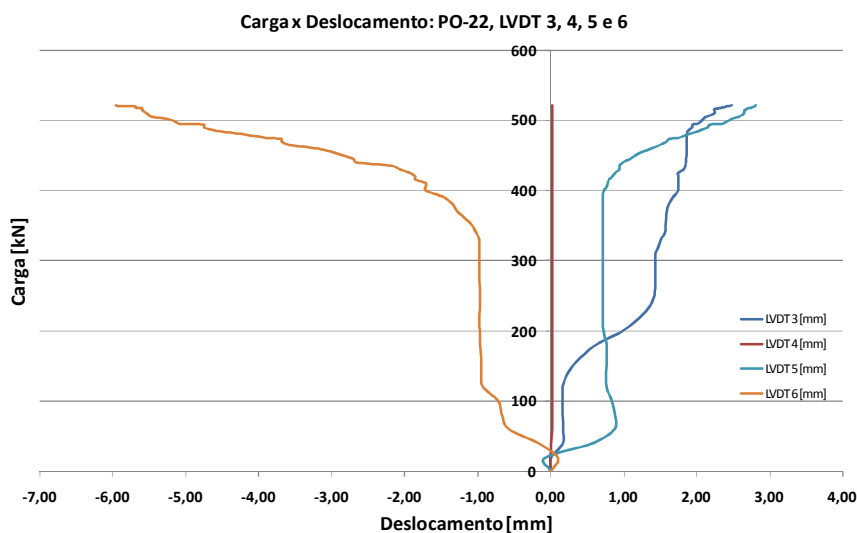


Figura 6.47 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.2.3

Ensaio PO-23

O ensaio PO-23, foi composto por 4 barras de armadura principais de 20,0mm com um comprimento de ancoragem de 500,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3 e g4, g5 e g6 e o lado II pelos grupos g7, g8, g9 e g10, com três conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a ruptura da solda de um dos conectores, mais precisamente no lado 2, a ruptura da solda ocorreu com uma carga igual a 413,00kN, sendo aplicada de forma convencional.

6.2.3.1

Extensômetros Elétricos

No gráfico apresentado na **Figura 6.48** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1, que se localiza na faixa horizontal fora da laje de concreto. Este grupo apresenta os resultados ou comportamentos durante todo o ensaio sem a influência do acréscimo de rigidez da laje de concreto.

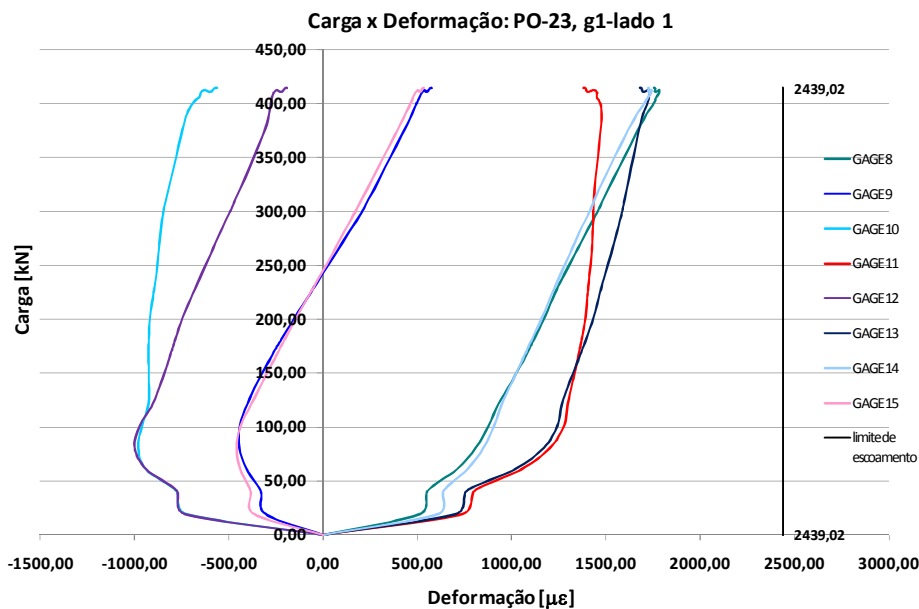


Figura 6.48 – Gráfico carga x deformação do grupo g1-lado 1.

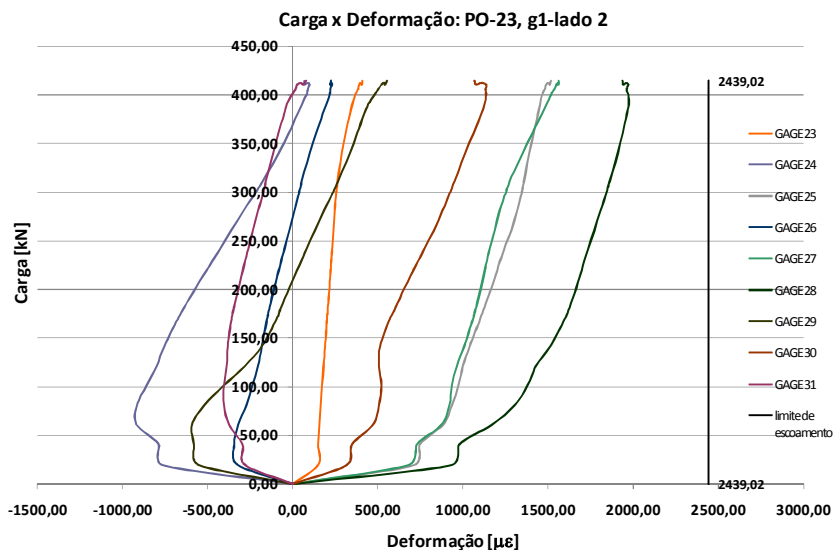


Figura 6.49 – Gráfico carga x deformação do grupo g1-lado 2.

Nos gráficos apresentados pelas **Figura 6.50, Figura 6.51, Figura 6.52, Figura 6.53, Figura 6.54, Figura 6.55, Figura 6.56 e Figura 6.57** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g3, g4, g5, g6, g7, g8, g9 e g10 que se localizam ao longo das barras verticais parcialmente imersas na laje de concreto, respectivamente.

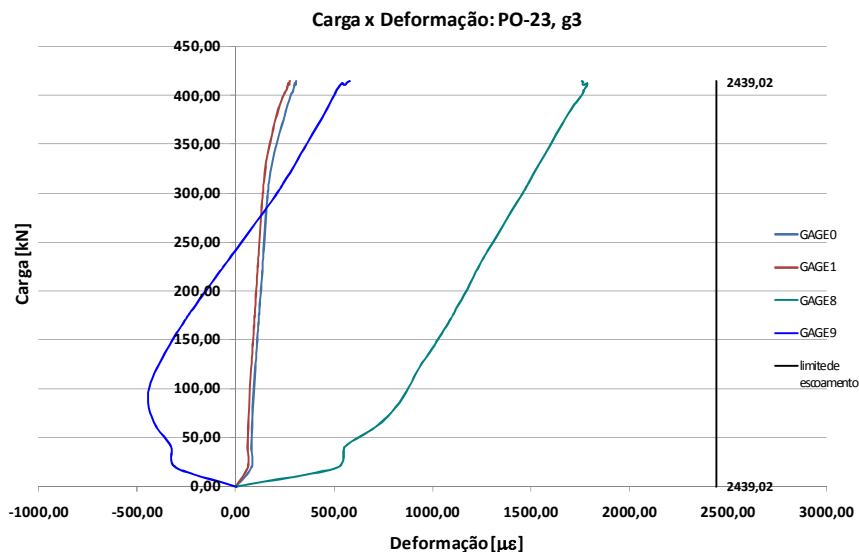


Figura 6.50 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

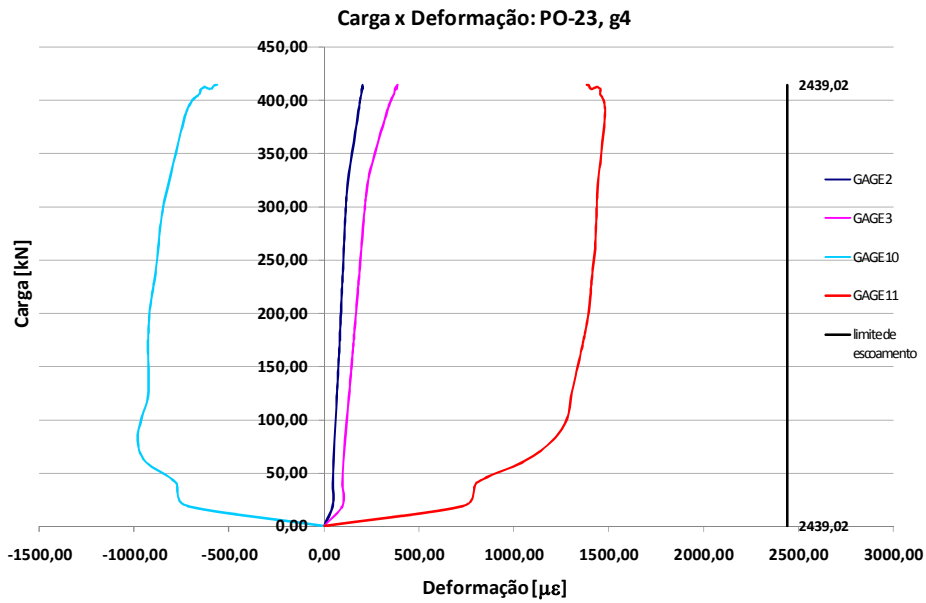


Figura 6.51 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

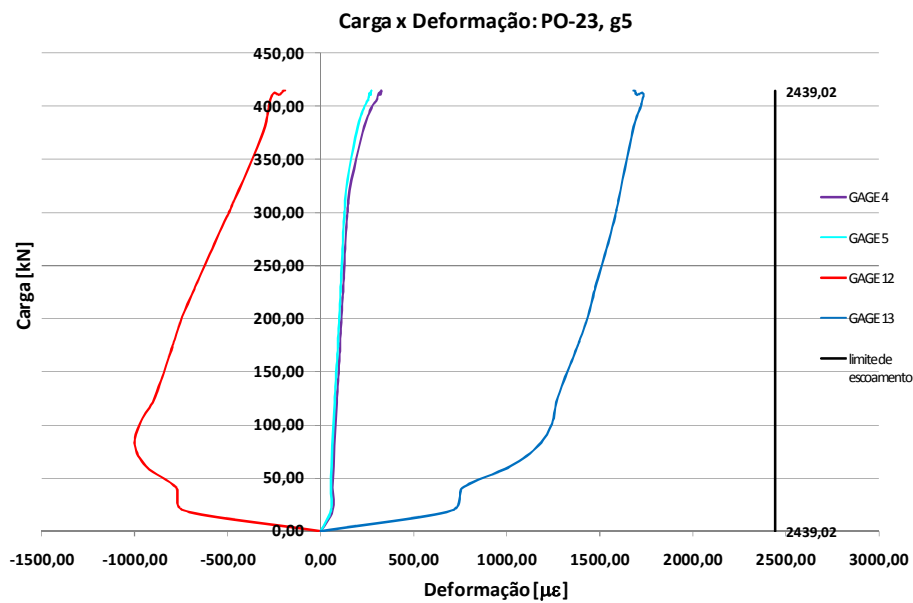


Figura 6.52 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

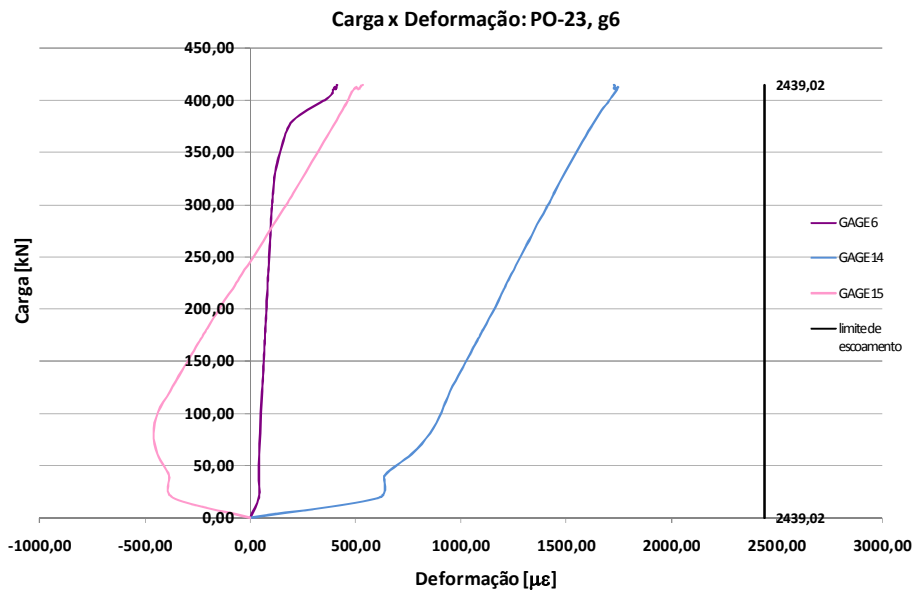


Figura 6.53 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

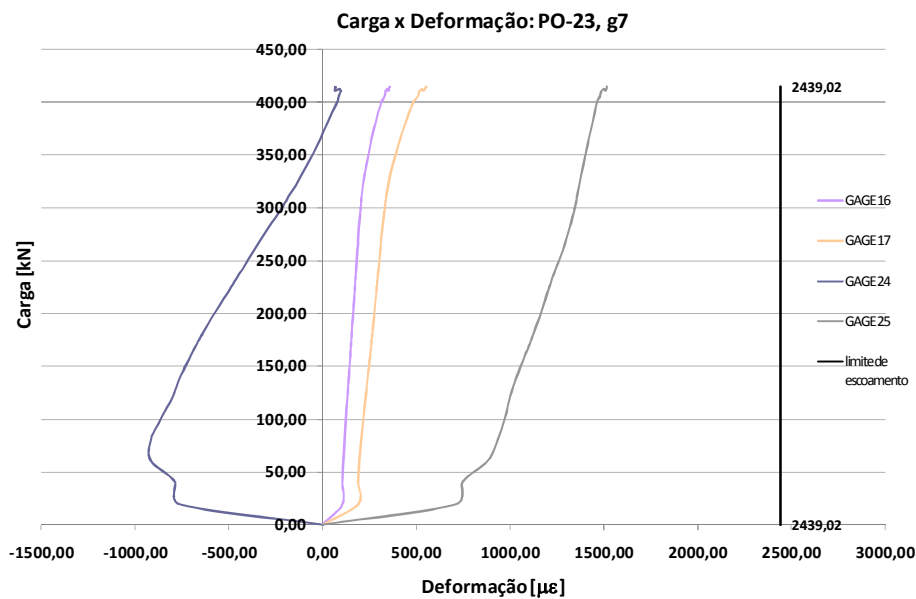


Figura 6.54 – Gráfico Carga x deformação do grupo g7.

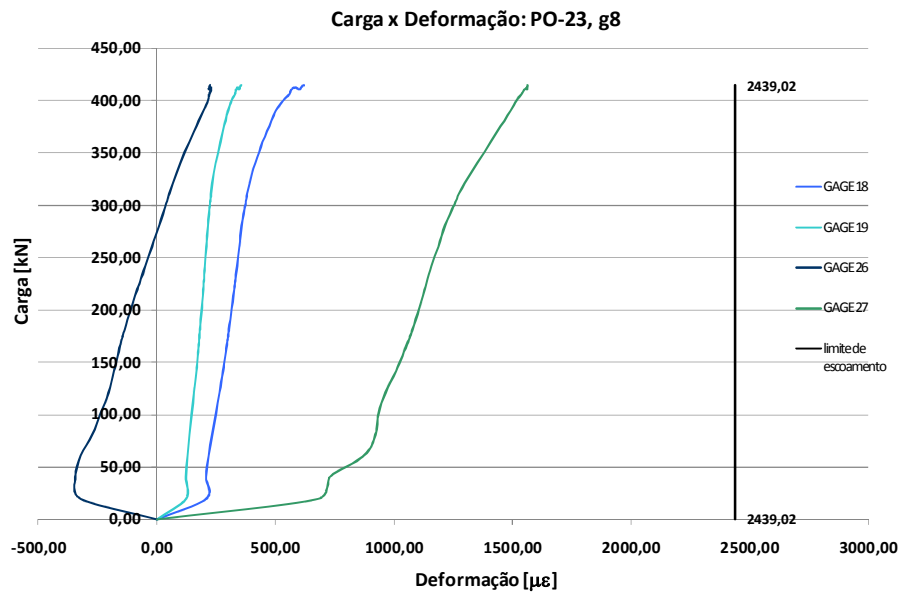


Figura 6.55 – Gráfico Carga x deformação do grupo g8.

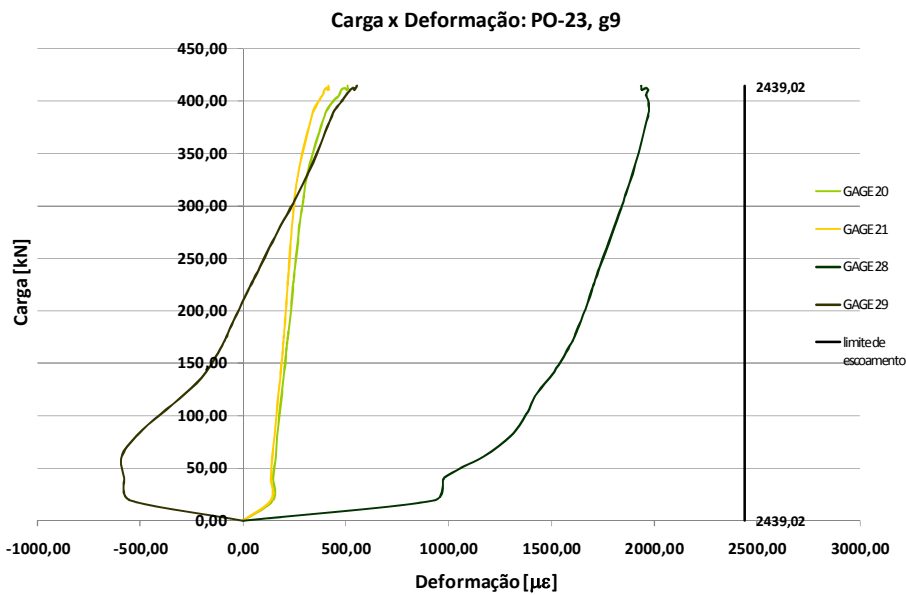


Figura 6.56 – Gráfico Carga x deformação do grupo g9.

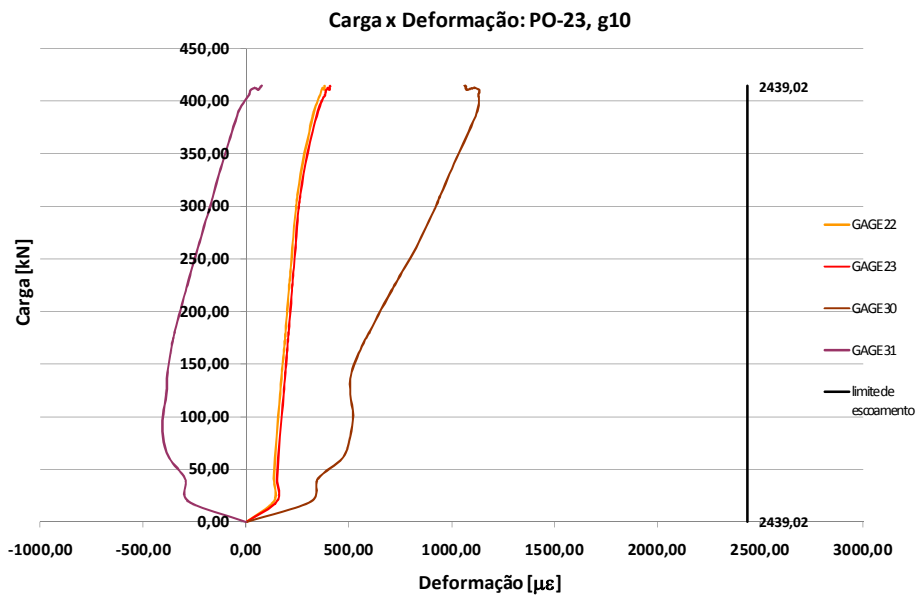


Figura 6.57 – Gráfico Carga x deformação do grupo g10.

6.2.3.2

LVDT's

A **Figura 6.58** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando-se que a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento ocorreu no lado I.

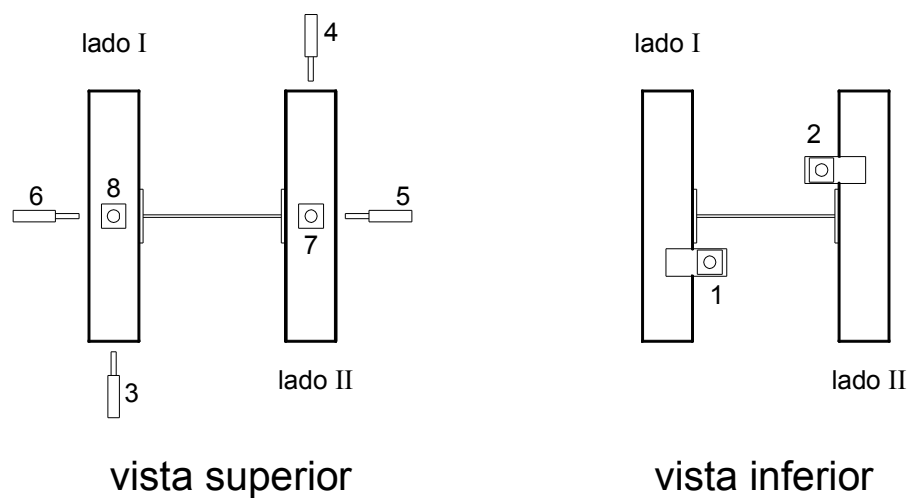


Figura 6.58 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.59** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto. O comportamento do LVDT 2 evidencia o lado onde seria previsto a ruptura do conector até a ruptura da solda. Os LVDT's 7 e 8, presentes na **Figura 6.59**, apresentam os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medidos na porção superior das lajes de concreto

O comportamento dos LVDT's no gráfico acima caracteriza a ruptura dos conectores de cisalhamento, onde ocorre o deslocamento sem que ocorra aumento da aplicação de carga.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.59**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

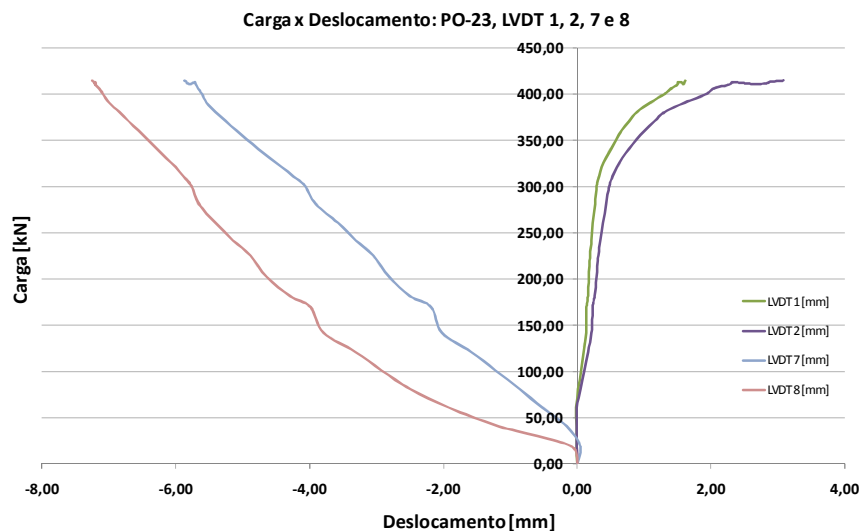


Figura 6.59 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

Na **Figura 6.60** a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 apresentando os deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto, também é observado o comportamento dos LVDT's 5 e 6 que apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.60**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

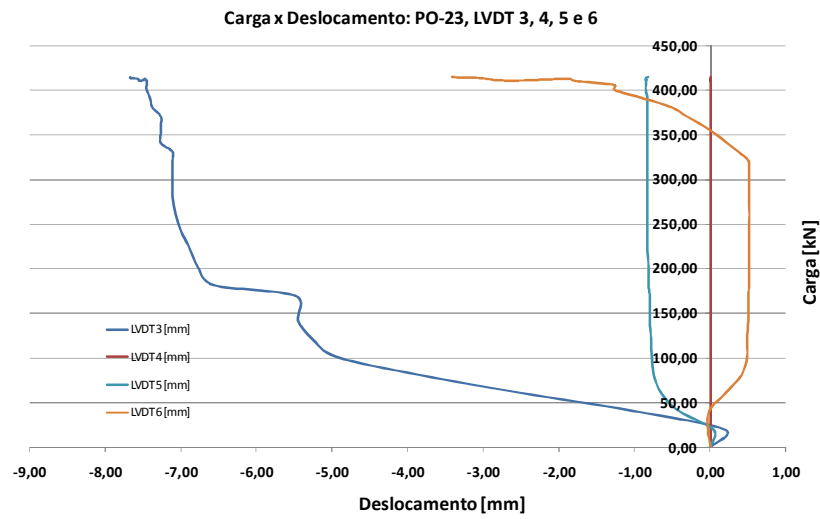


Figura 6.60 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.3

Ensaio da Série PO-7X

Na **Figura 6.61** é proporcionada uma visão geral da instrumentação utilizada.

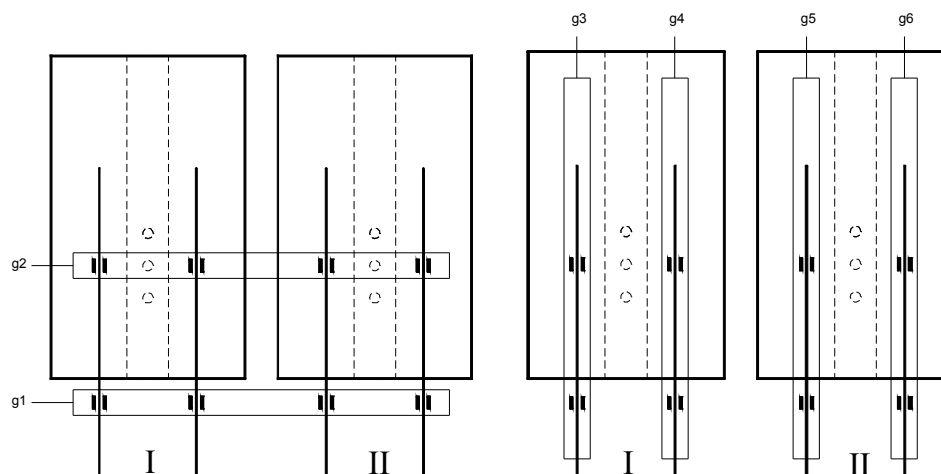


Figura 6.61 – Referência para análise de resultados

6.3.1

Ensaio PO-71

O ensaio PO-71, foi composto por duas barras de armadura principais de 20,0mm com um comprimento de ancoragem de 450,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3 e g4, e o lado II pelos grupos g5 e g6, com três conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento, mais precisamente no lado 2, com uma carga igual a 415,00kN, sendo aplicada de forma convencional.

Abaixo, são apresentados e comentados cada um dos resultados obtidos neste ensaio.

6.3.1.1

Extensômetros Elétricos

No gráfico apresentado na **Figura 6.62** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1, que se localiza na faixa horizontal fora da laje de concreto. Este grupo apresenta os resultados ou comportamentos durante todo o ensaio sem a influência do acréscimo de rigidez da laje de concreto.

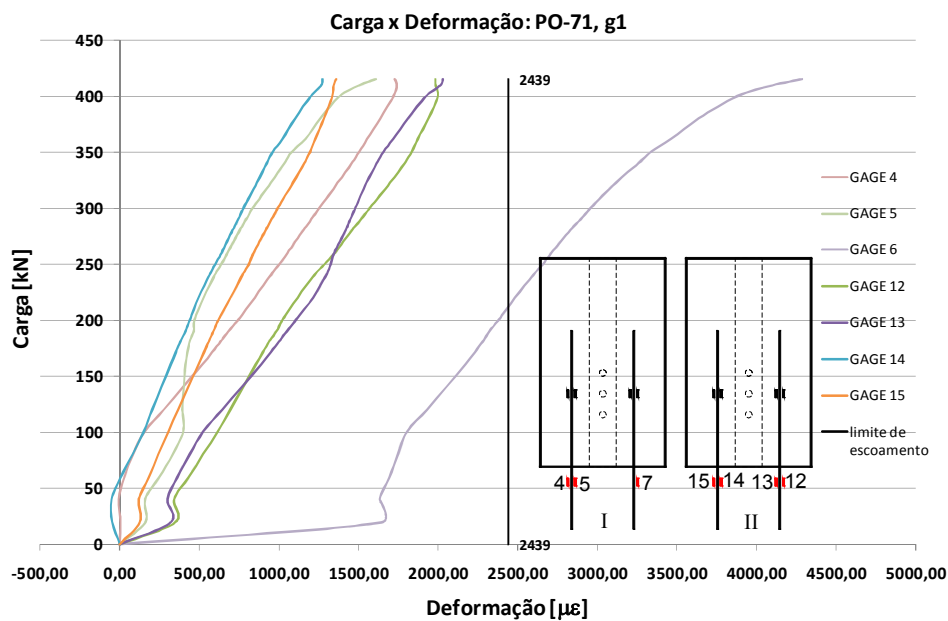


Figura 6.62 – Gráfico carga x deformação do grupo g1.

No gráfico da **Figura 6.62** pode ser notado que o extensômetro número 6 ultrapassa o limite de escoamento antes que ocorra a ruptura da solda do conector de cisalhamento. O comportamento do extensômetro ultrapassando o limite de escoamento é explicado pelas proximidades das cargas de ruptura da barra da armadura e da solda do conector de cisalhamento.

No gráfico apresentado na **Figura 6.63** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g2, que se encontram imersos no primeiro nível da laje de concreto.

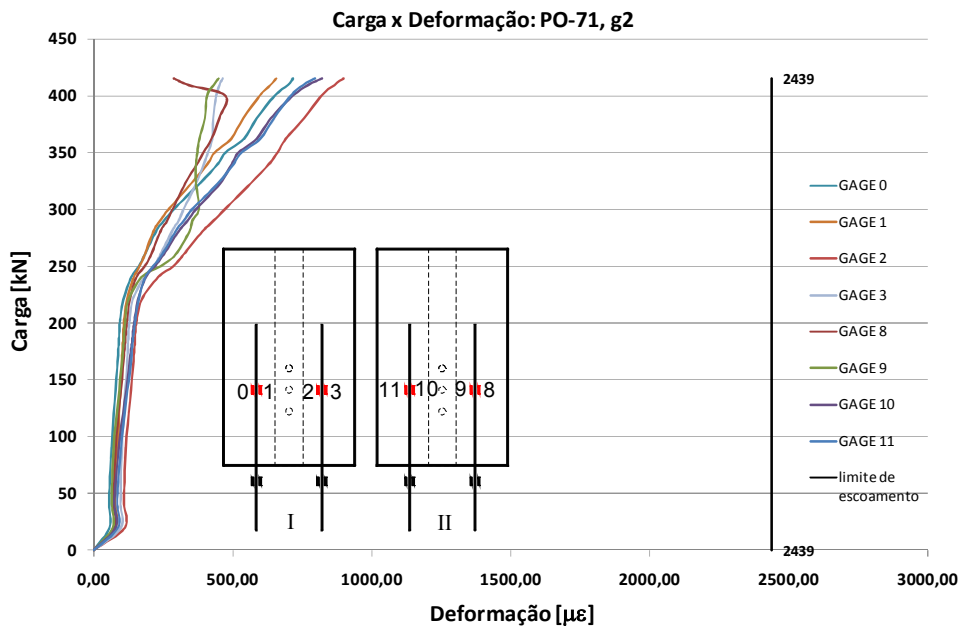


Figura 6.63 – Gráfico Carga x deformação do grupo g2.

Nos gráficos apresentados nas **Figura 6.64**, **Figura 6.65**, **Figura 6.66** e **Figura 6.67** podem ser observados o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g3, g4, g5 e g6 que se localizam nas barras imersas na laje de concreto.

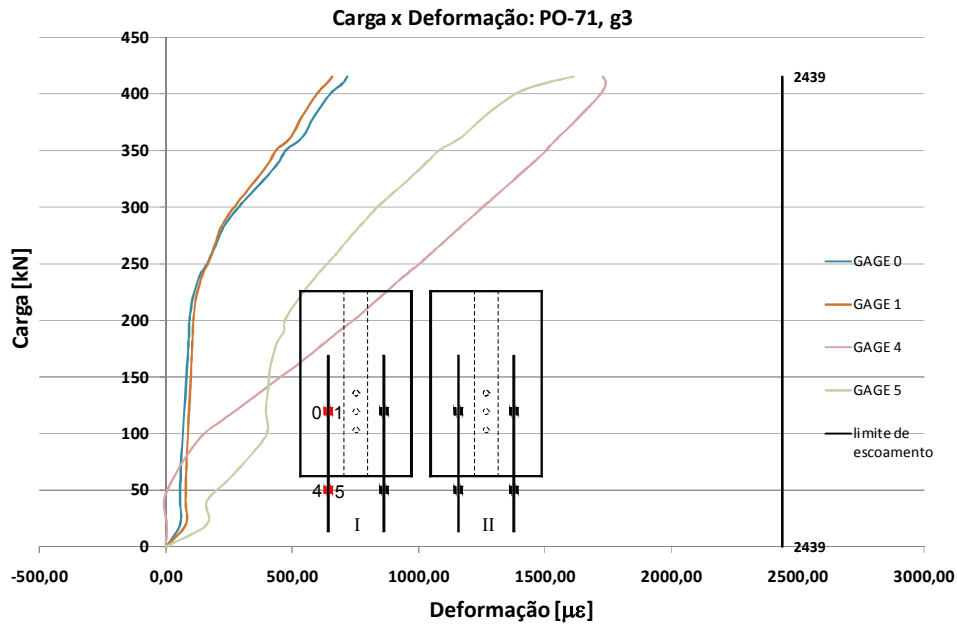


Figura 6.64 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

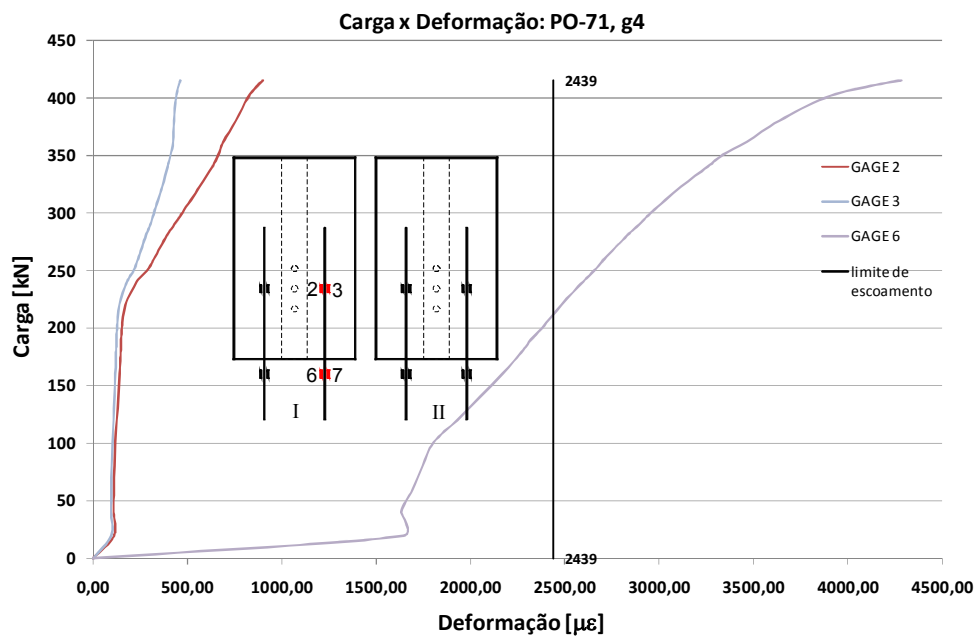


Figura 6.65 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

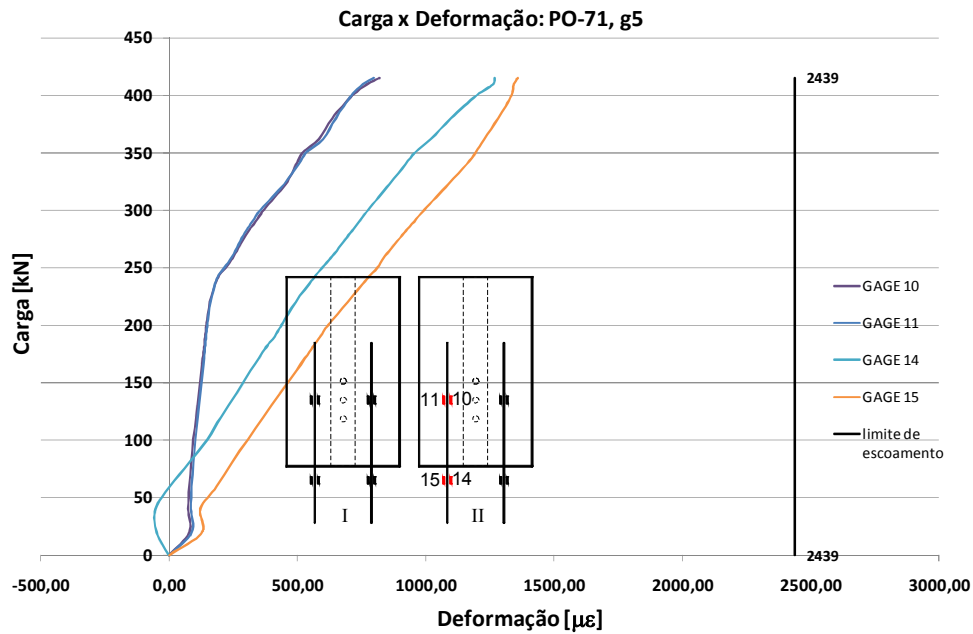


Figura 6.66 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

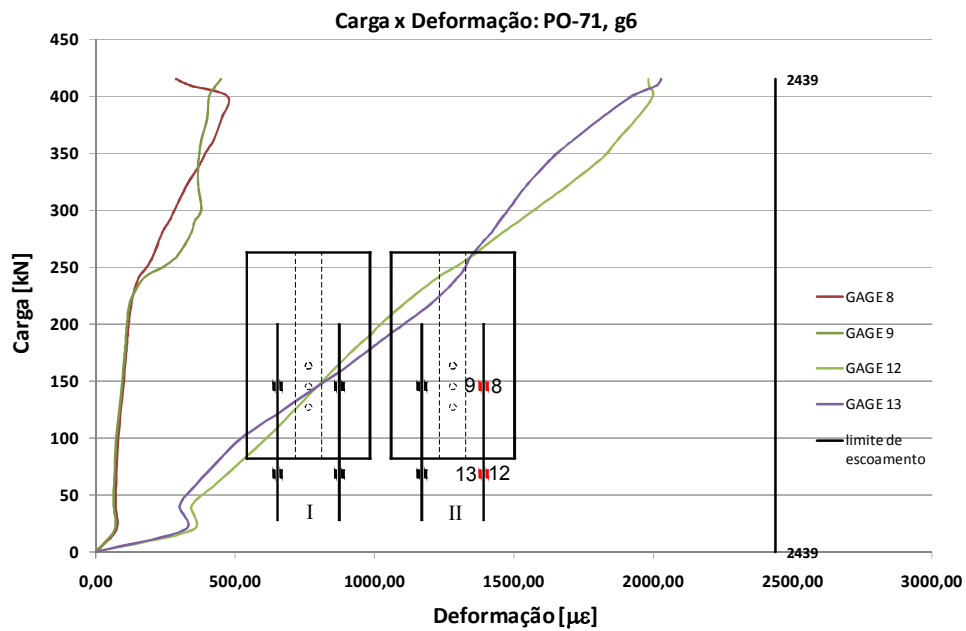


Figura 6.67 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

6.3.1.2

LVDT's

A **Figura 6.68** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando-se que a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento ocorreu no lado II.

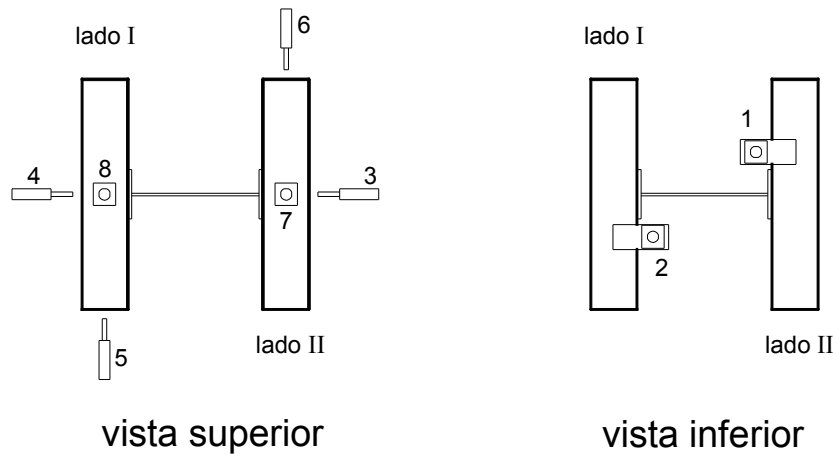


Figura 6.68 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.69** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto. Os LVDT's 7 e 8 apresentam os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medidos na porção superior das lajes de concreto

O gráfico da **Figura 6.69** apresenta o comportamento característico da ruptura da solda do conector de cisalhamento, caracterizado pela ruptura brusca, sem nenhum aviso.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.69**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

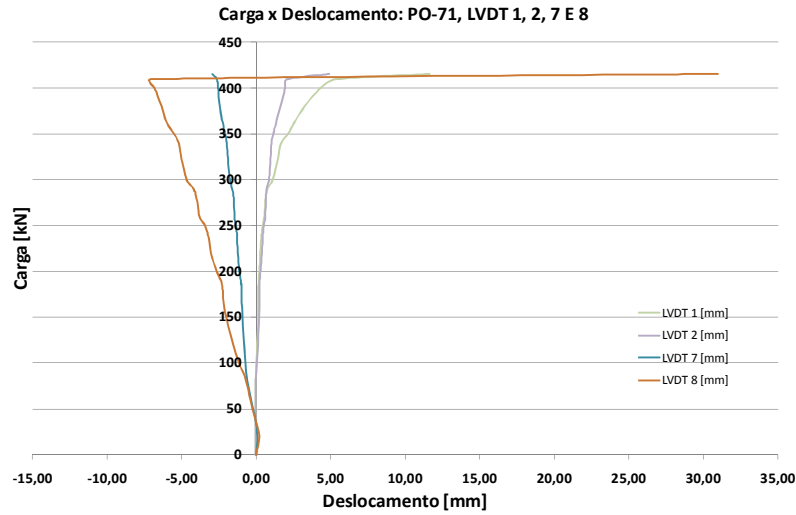


Figura 6.69 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.70** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto. Os LVDT's 5 e 6 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto, **Figura 6.70**.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.70**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

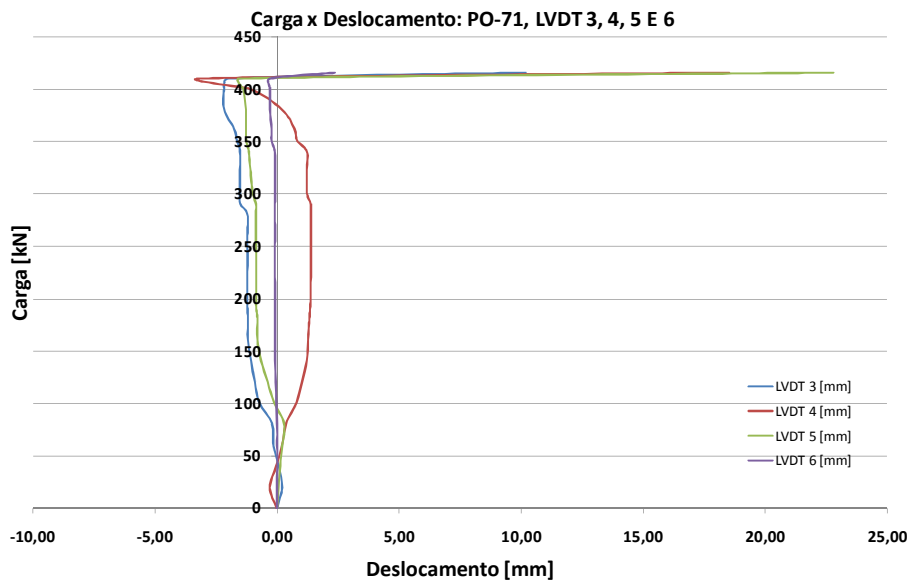


Figura 6.70 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.3.2

Ensaio PO-72

O ensaio PO-72, foi composto por duas barras de armadura principais de 20,0mm com um comprimento de ancoragem de 450,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3 e g4, e o lado II pelos grupos g5 e g6, com três conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a ruptura da ancoragem em uma de suas barras de armadura, no lado I na barra de número 2 com o modo de ruptura previsto, o grupo g4 apresenta o comportamento da ruptura por ancoragem desta barra, com uma carga igual a 448,56kN, sendo aplicada de forma convencional.

6.3.2.1

Extensômetros Elétricos

No gráfico apresentado na **Figura 6.71** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1, que se localiza na faixa horizontal fora da laje de concreto. Este grupo apresenta os resultados ou comportamentos durante todo o ensaio sem a influência do acréscimo de rigidez da laje de concreto.

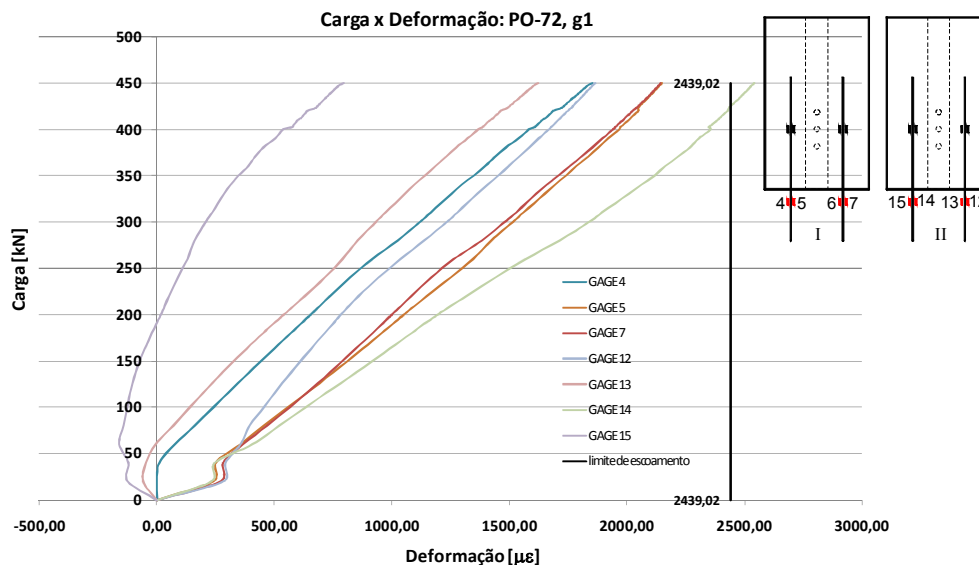


Figura 6.71 – Gráfico carga x deformação do grupo g1.

No gráfico apresentado na **Figura 6.72** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g2, que se encontram imersos no primeiro nível da laje de concreto.

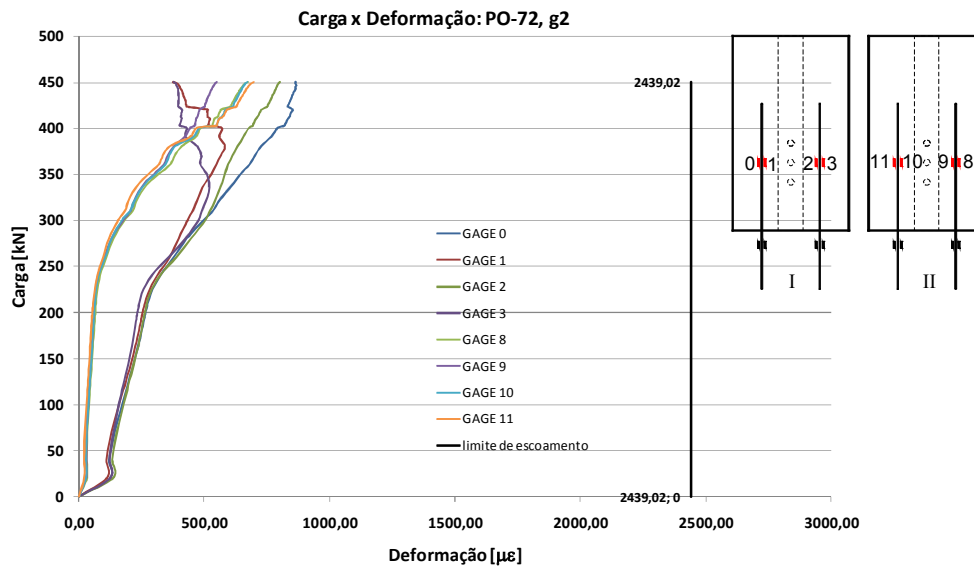


Figura 6.72 – Gráfico Carga x deformação do grupo g2.

No gráfico apresentado na **Figura 6.73** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g3, que se localizam na barra vertical número 1 que está imersa na laje de concreto.

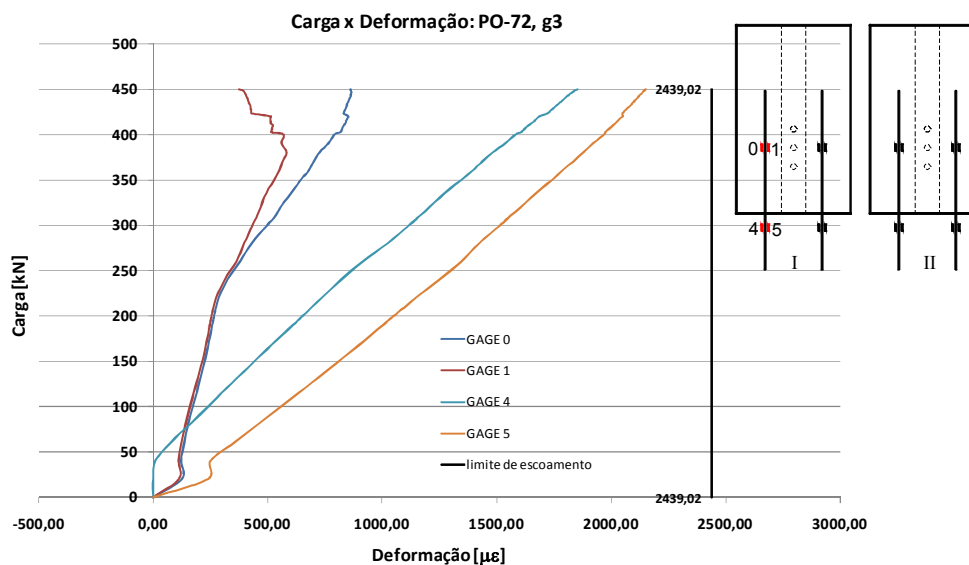


Figura 6.73 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

No gráfico apresentado na **Figura 6.74** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g4, que se localizam na barra vertical número 2 que está imersa na laje de concreto.

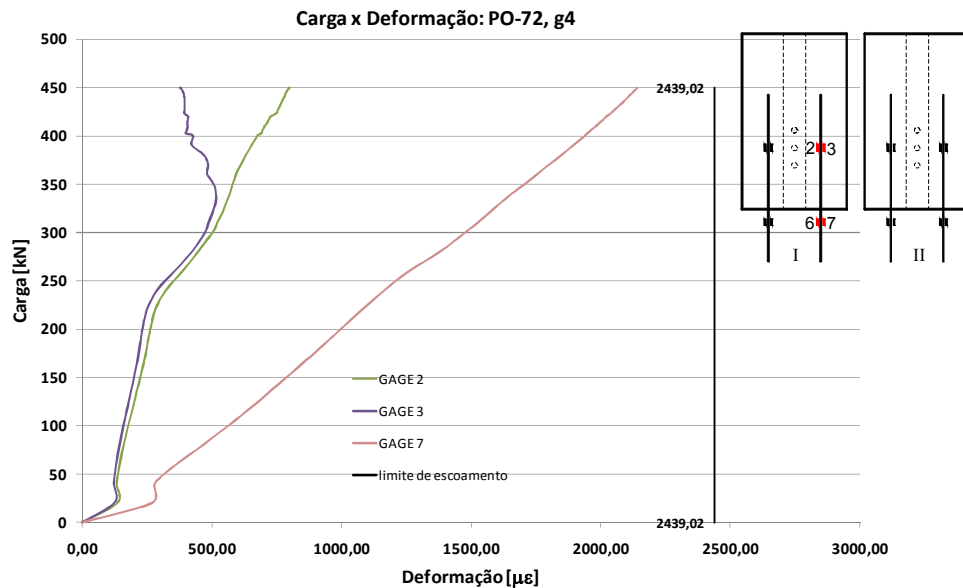


Figura 6.74 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

No gráfico apresentado na **Figura 6.75** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g5, que se localizam na barra vertical número 3 que está imersa na laje de concreto.

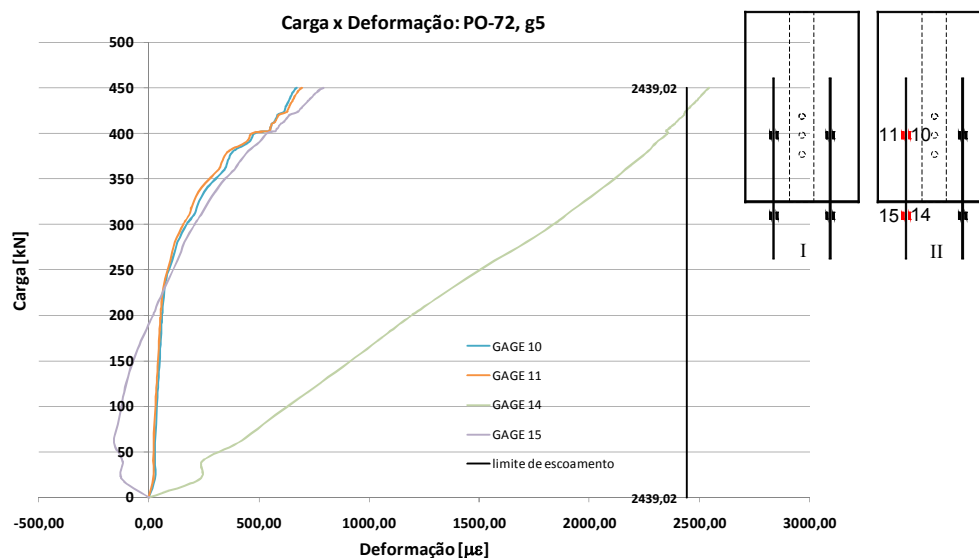


Figura 6.75 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

No gráfico acima pode ser notado que o extensômetro número 14 ultrapassou o limite de escoamento antes da ruptura da ancoragem, notando que esta barra estava muito próxima da ruptura, ou seja, esta configuração de pull-out aproxima muito os modos de colapso da ruptura da barra com a ruptura da ancoragem.

No gráfico apresentado na **Figura 6.76** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g6, que se localizam na barra vertical número 4 que está imersa na laje de concreto.

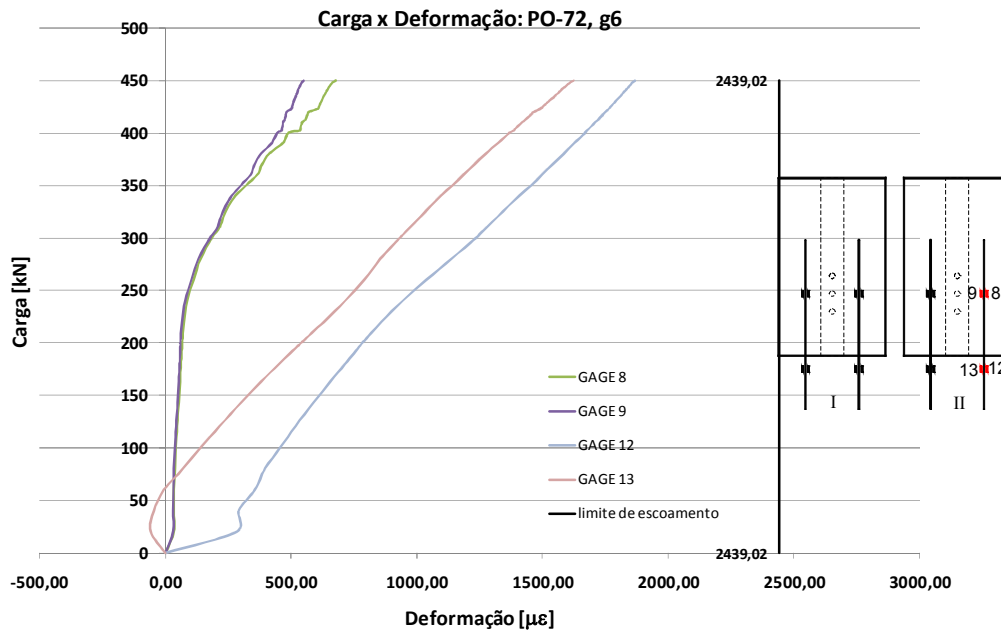


Figura 6.76 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

6.3.2.2

LVDT's

A **Figura 6.77** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando-se que a ruptura ocorreu pela ruptura da ancoragem da barra de armadura no lado I.

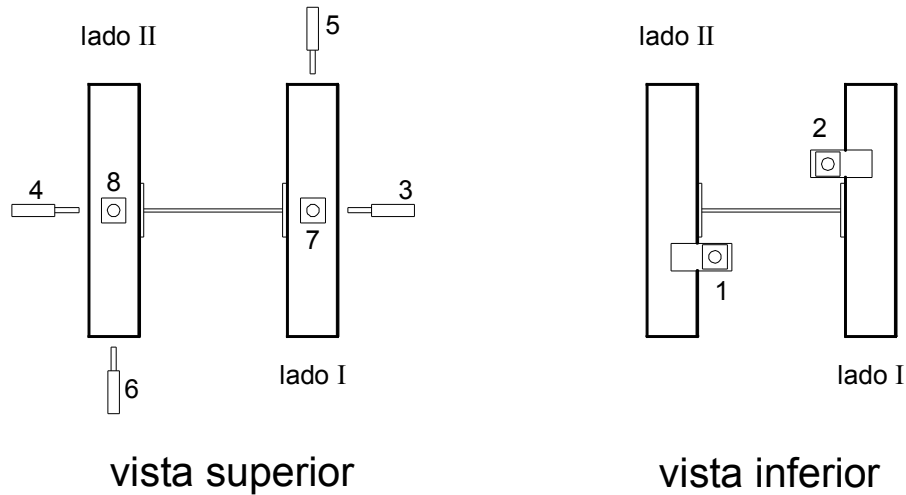


Figura 6.77 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.78** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto.

O deslocamento consideravelmente maior do LVDT 2 com relação ao LVDT 1, apresenta o lado onde ocorreu a ruptura na **Figura 6.78**.

Em todos os gráficos de deslocamento desse ensaio, pode ser observado que a partir de 200kN, o comportamento do gráfico é alterado, e que segue daí para a ruptura da ancoragem, sendo que em alguns ocorre uma série de curvas, outro por um grande salto, mas todos aumentam os deslocamento consideravelmente a partir deste ponto até atingir a ruptura. Do mesmo modo na **Figura 6.78**, apresenta-se a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 7 e 8 apresentam os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medidos na porção superior das lajes de concreto.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.78**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

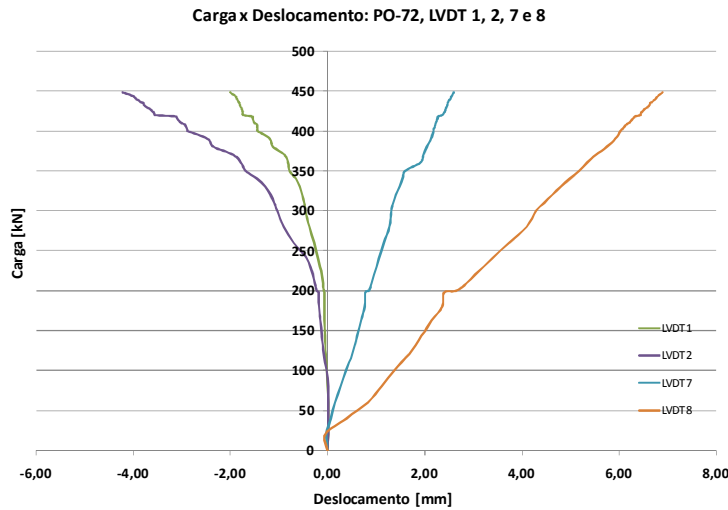


Figura 6.78 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.79** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto. Também como os LVDT's 5 e 6 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.79**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

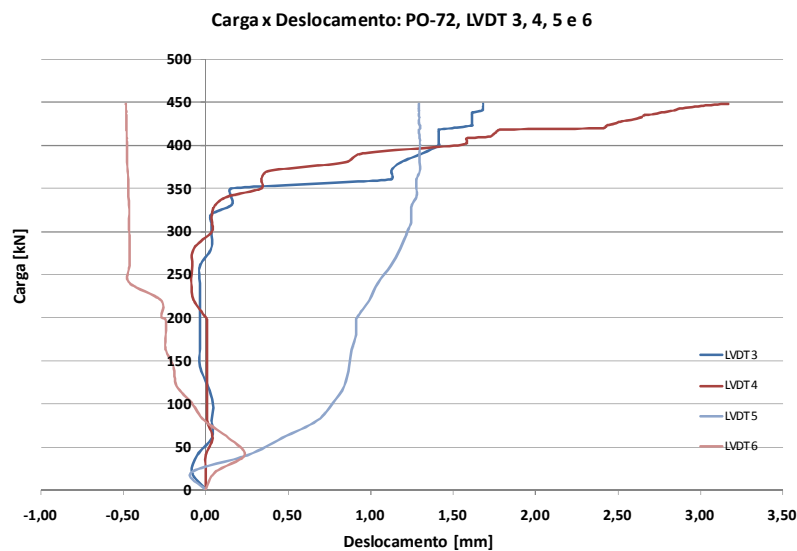


Figura 6.79 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.3.3

Ensaio PO-73

O ensaio PO-73, foi composto por duas barras de armadura principais de 20,0mm com um comprimento de ancoragem de 450,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3 e g4, e o lado II pelos grupos g5 e g6, com três conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento, mais precisamente no lado 2 com uma carga igual a 435,0kN, sendo aplicada de forma convencional.

6.3.3.1

Extensômetros Elétricos

No gráfico apresentado na **Figura 6.80** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1, que se localiza na faixa horizontal fora da laje de concreto. Este grupo apresenta os resultados ou comportamentos durante todo o ensaio sem a influência do acréscimo de rigidez da laje de concreto.

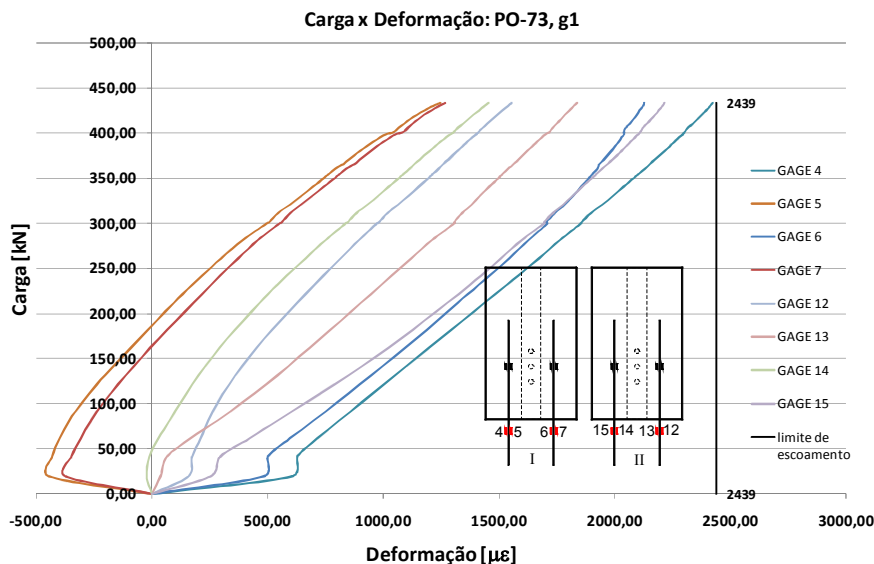


Figura 6.80 – Gráfico carga x deformação do grupo g1.

No gráfico apresentado na **Figura 6.81** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g2, que se encontram imersos no primeiro nível da laje de concreto.

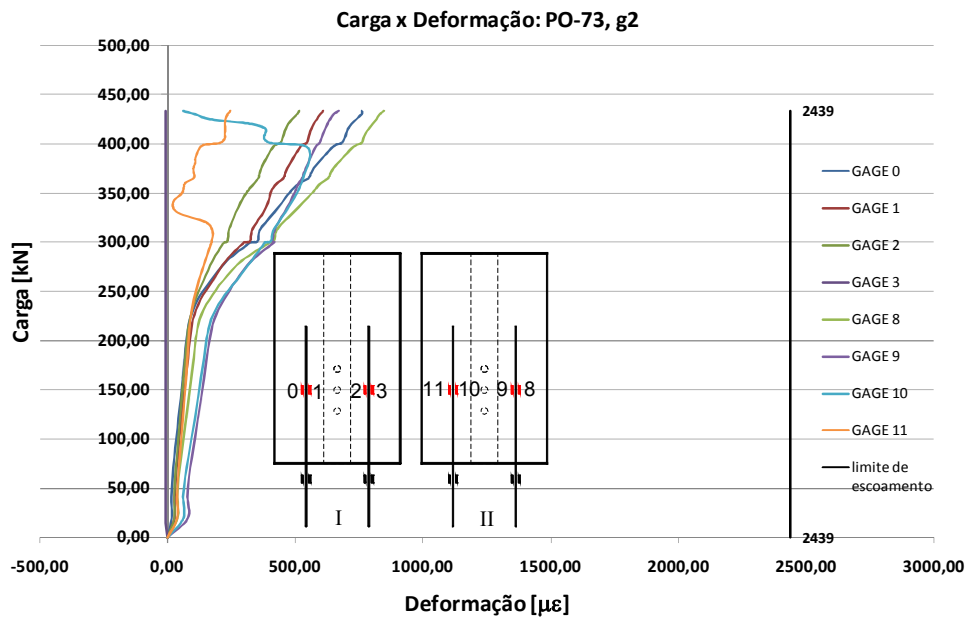


Figura 6.81 – Gráfico Carga x deformação do grupo g2.

No gráfico apresentado na **Figura 6.82** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g3, que se localizam na barra vertical número 1 que está imersa na laje de concreto. Observando o gráfico da **Figura 6.82**, nota-se que o extensômetro 4 praticamente atingiu o limite de escoamento antes de ocorrer a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento.

Nos gráficos das **Figura 6.83** a **Figura 6.85** podem ser observados o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g4, g5 e g6 das barras parcialmente imersas na laje de concreto.

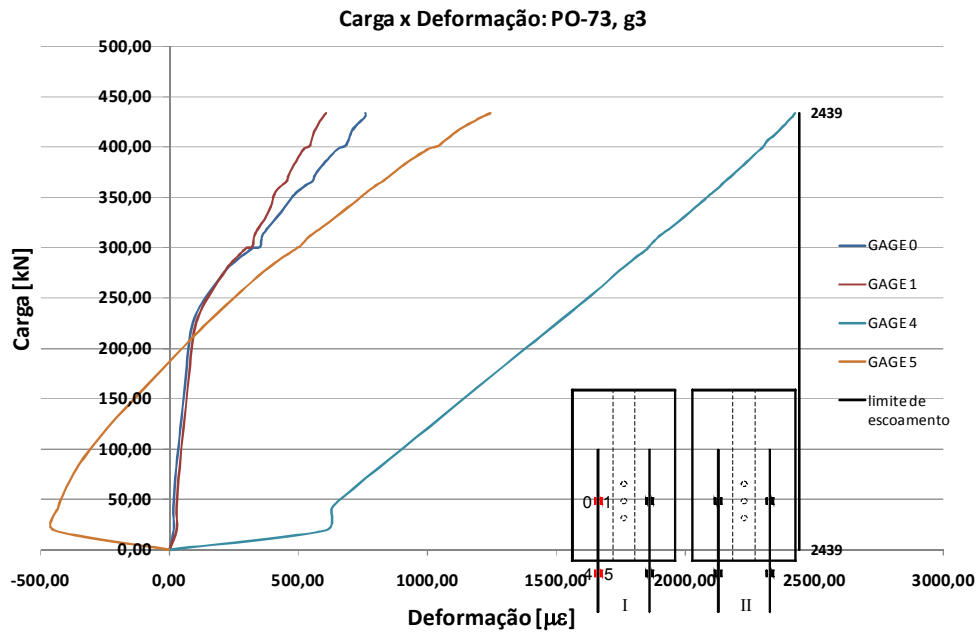


Figura 6.82 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

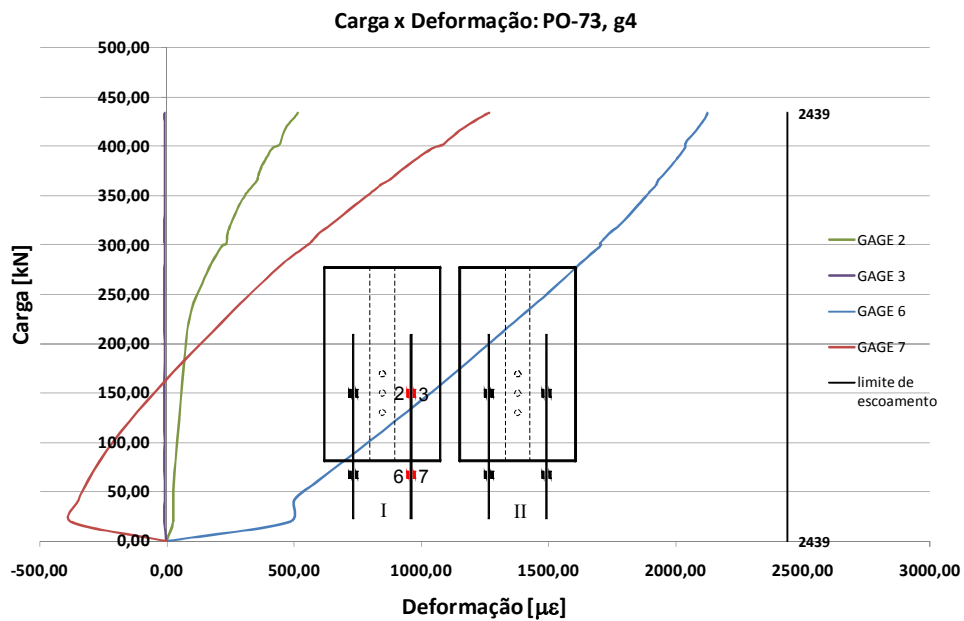


Figura 6.83 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

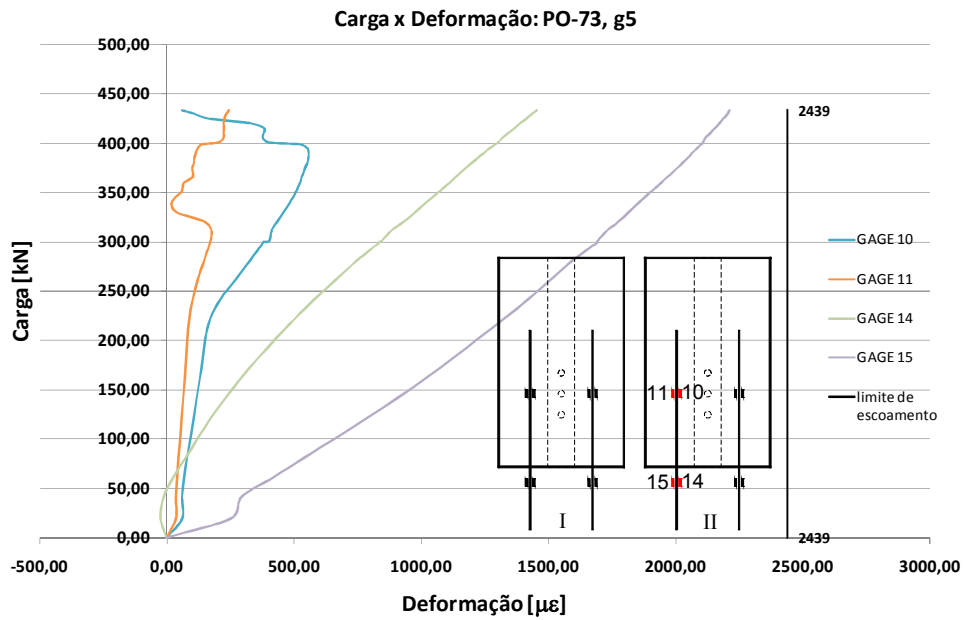


Figura 6.84 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

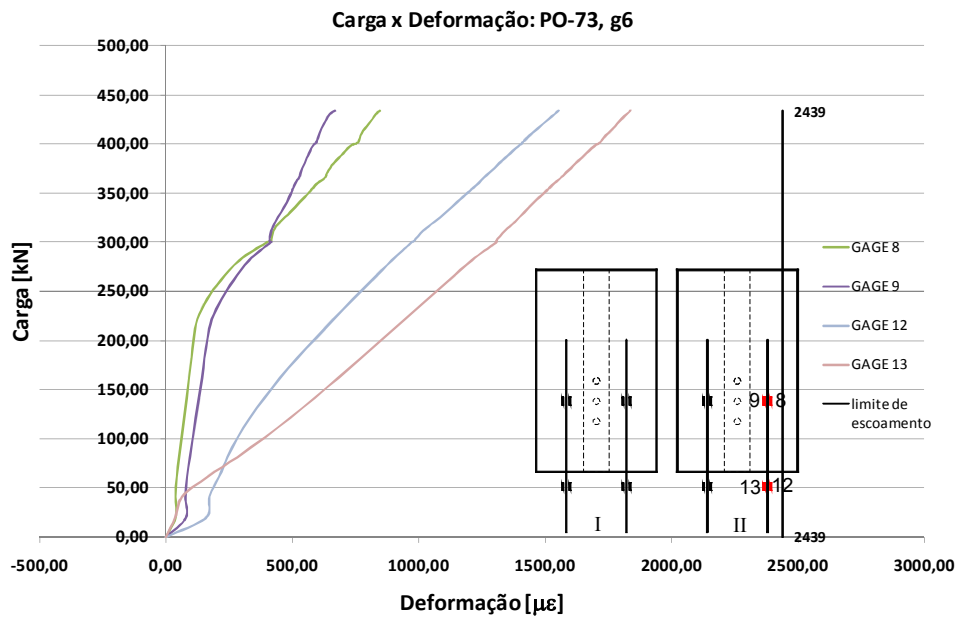


Figura 6.85 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

6.3.3.2

LVDT's

A **Figura 6.86** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando que a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento ocorreu no lado II.

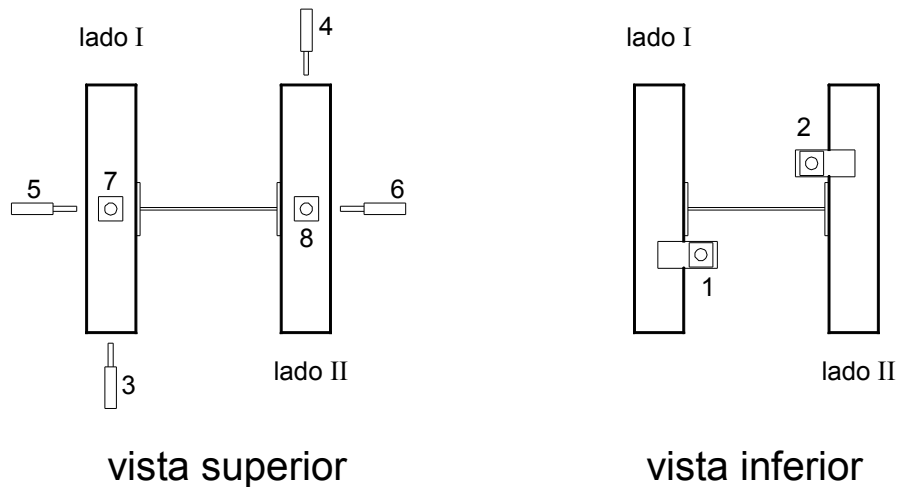


Figura 6.86 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.87** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto, **Figura 6.87**, os LVDT's 1 e 2 apresentados na figura abaixo demonstram claramente os momentos onde os conectores foram rompendo, em 300kN, após 350kN e 400kN.

A **Figura 6.87** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 7 e 8 apresentam os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medidos na porção superior das lajes de concreto, **Figura 6.87**.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.87**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

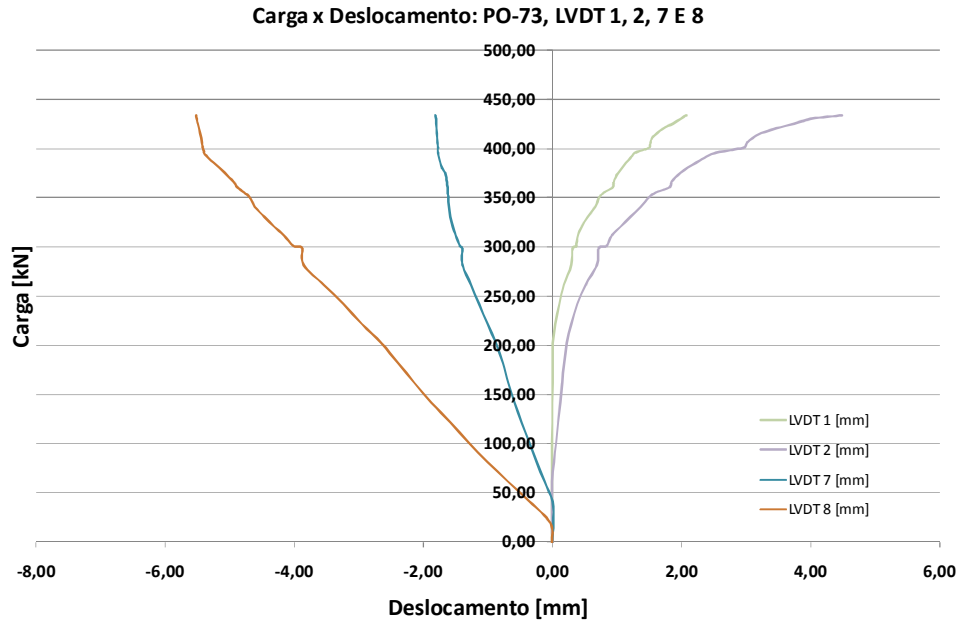


Figura 6.87 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.88** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto, **Figura 6.88**.

A partir da aproximação da ruptura da solda dos conectores ocorreu um deslizamento no LVDT 3.

A **Figura 6.88** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 5 e 6 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto, **Figura 6.88**.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.88**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

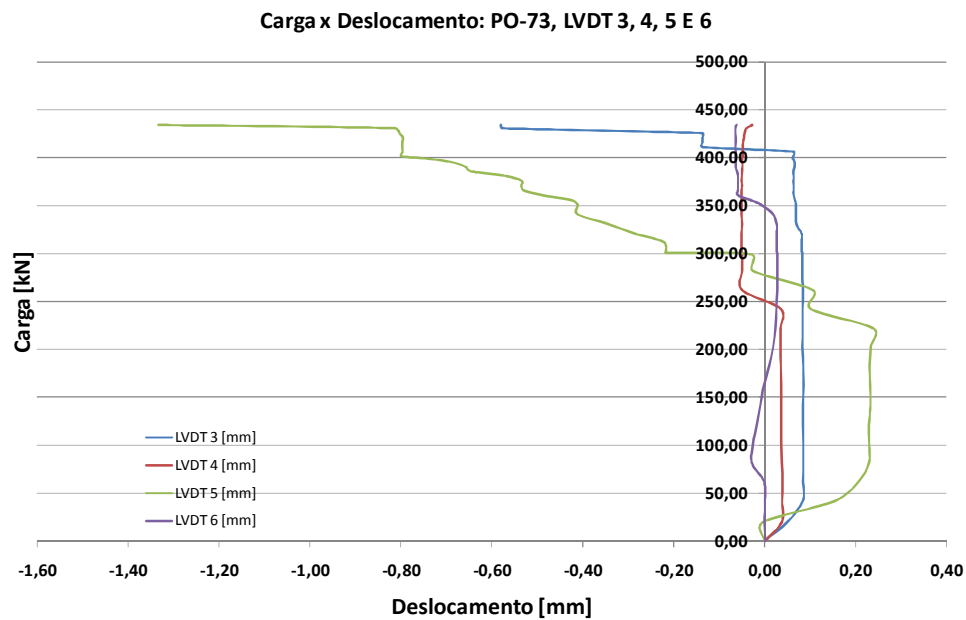


Figura 6.88 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.4

Ensaio da Série PO-8X

Na **Figura 6.89** é proporcionada uma visão geral da instrumentação utilizada.

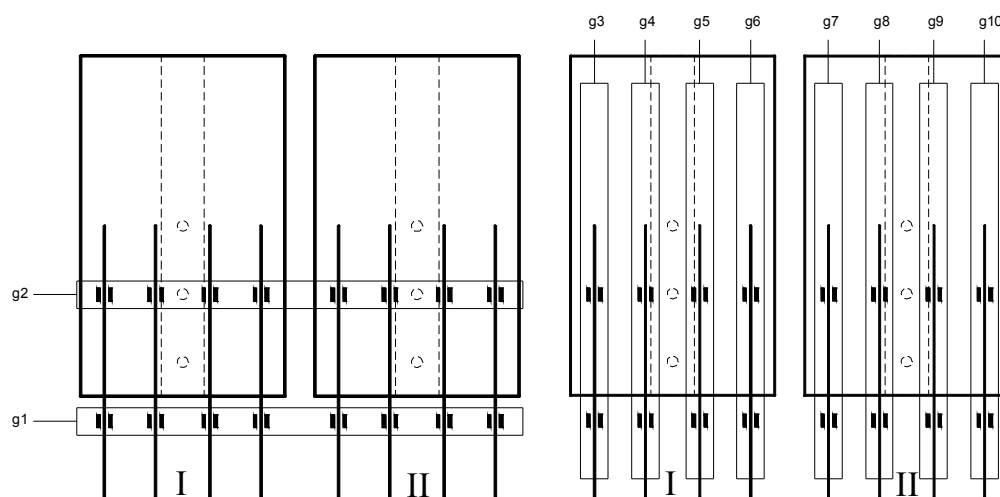


Figura 6.89 – Referência para análise de resultados

6.4.1

Ensaio PO-81

O ensaio PO-81, foi composto por 4 barras de armadura principais de 16,0mm com um comprimento de ancoragem de 300,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3 e g4, g5 e g6 e o lado II pelos grupos g7, g8, g9 e g10, com três conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a ruptura da solda de um dos conectores, mais precisamente no lado 1, com uma carga igual a 268,340kN, sendo aplicada de forma convencional.

6.4.1.1

Extensômetros Elétricos

No gráfico apresentado na **Figura 6.90** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1, que se localiza na faixa horizontal fora da laje de concreto. Este grupo apresenta os resultados ou comportamentos durante todo o ensaio sem a influência do acréscimo de rigidez da laje de concreto.

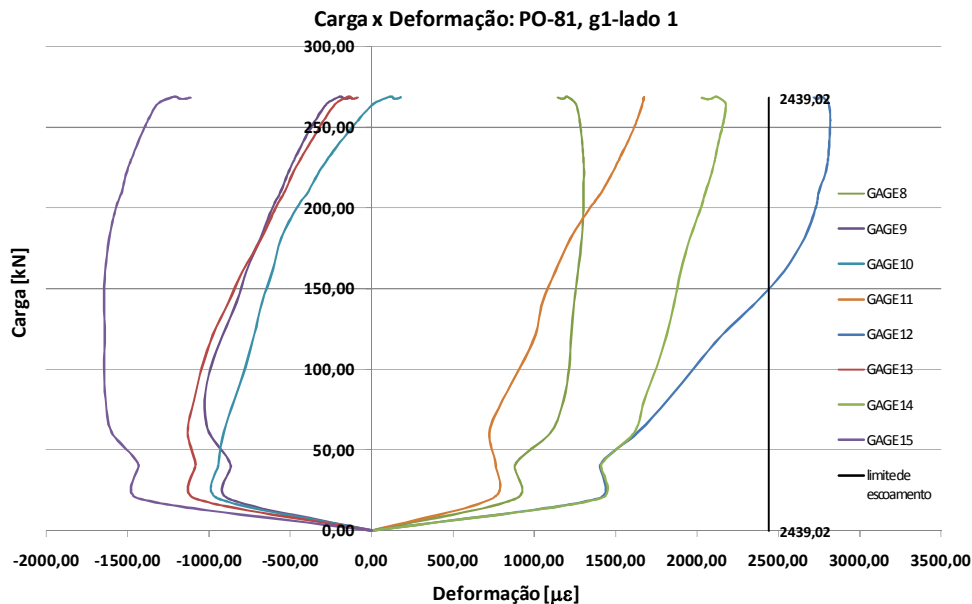


Figura 6.90 – Gráfico carga x deformação do grupo g1-lado 1.

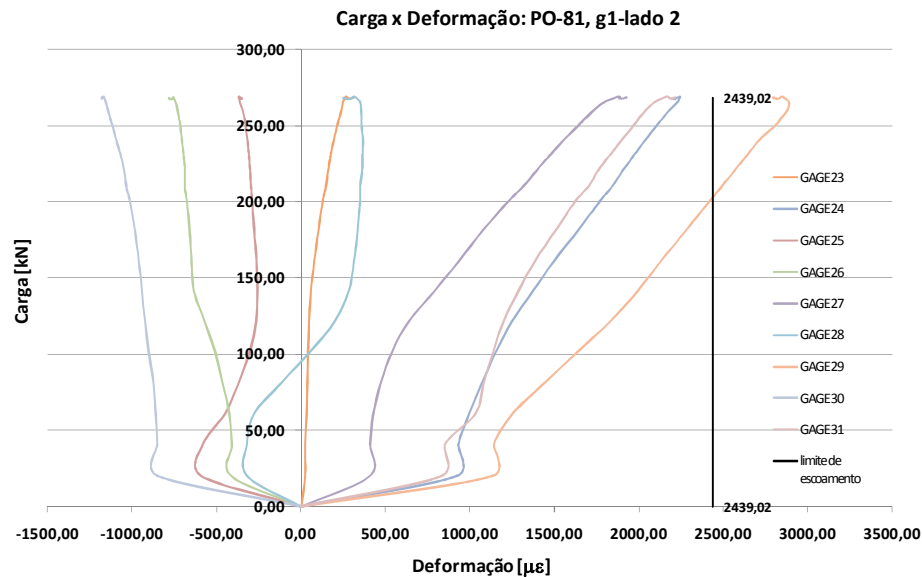


Figura 6.91 – Gráfico carga x deformação do grupo g1-lado 2.

Nota-se que antes de ocorrer a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento alguns dos extensômetros (12 e 29), já haviam ultrapassado o limite de ruptura.

No gráfico apresentado na **Figura 6.92** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g2, que se encontram imersos no primeiro nível da laje de concreto.

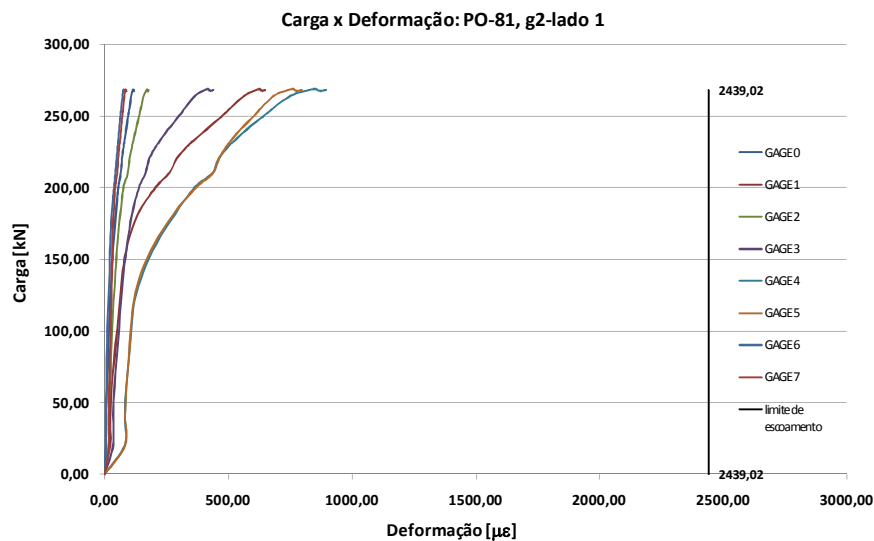


Figura 6.92 – Gráfico Carga x deformação do grupo g2-lado 1.

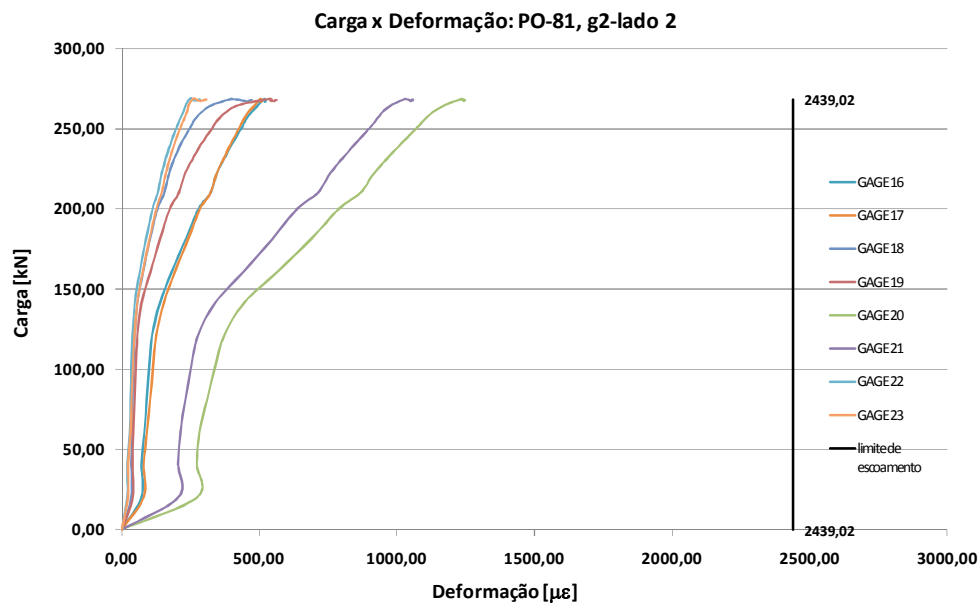


Figura 6.93 – Gráfico Carga x deformação do grupo g2-lado 2.

No gráfico apresentado na **Figura 6.94** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g3, que se localizam na barra vertical número 1 que está imersa na laje de concreto.

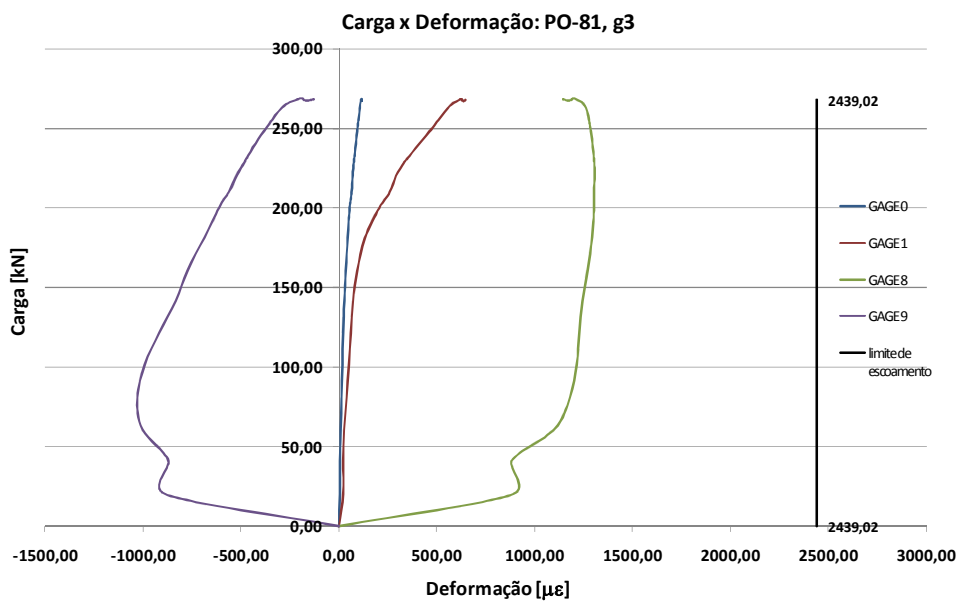


Figura 6.94 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

Na **Figura 6.94** notamos que após uma interferência no comportamento dos extensômetros 8 e 9, não ocorreu mais deformação significativa ao longo do seu trajeto, sendo interpretado de modo que somente a solda do conector de cisalhamento deformou-se consideravelmente a partir deste ponto.

No gráfico apresentado na **Figura 6.95** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g4, que se localizam na barra vertical número 2 que está imersa na laje de concreto.

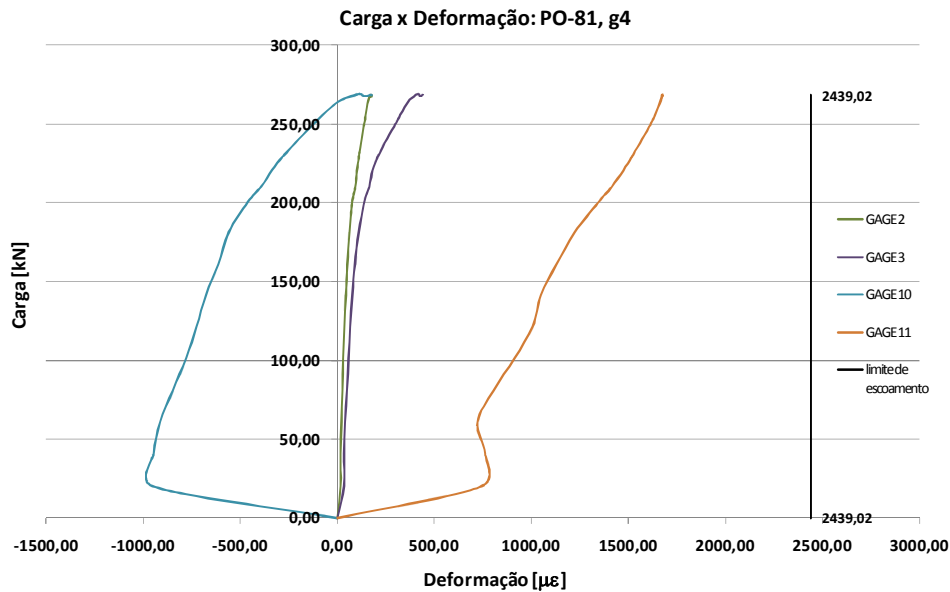


Figura 6.95 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

No gráfico apresentado na **Figura 6.96** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g5, que se localizam na barra vertical número 3 que está imersa na laje de concreto.

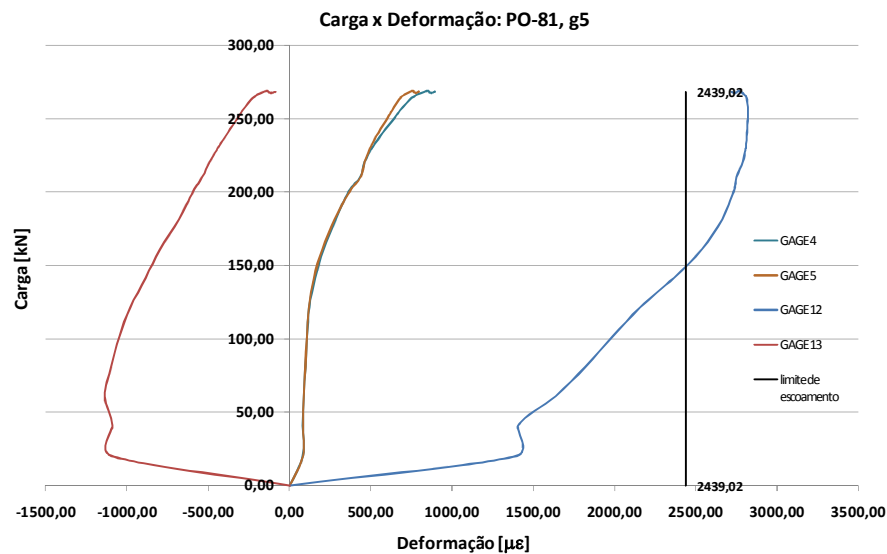


Figura 6.96 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

No gráfico apresentado na **Figura 6.97** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g6, que se localizam na barra vertical número 4 que está imersa na laje de concreto.

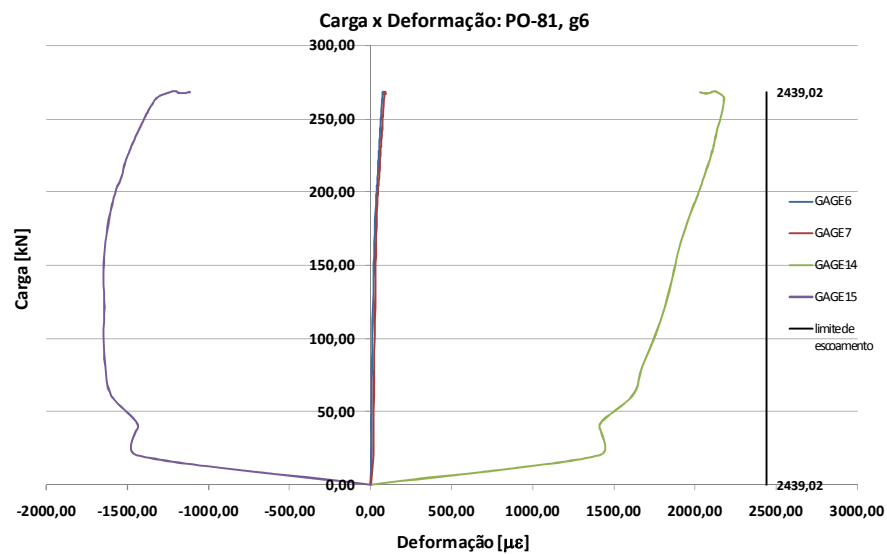


Figura 6.97 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

No gráfico apresentado na **Figura 6.98** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g7, que se localizam na barra vertical número 5 que está imersa na laje de concreto.

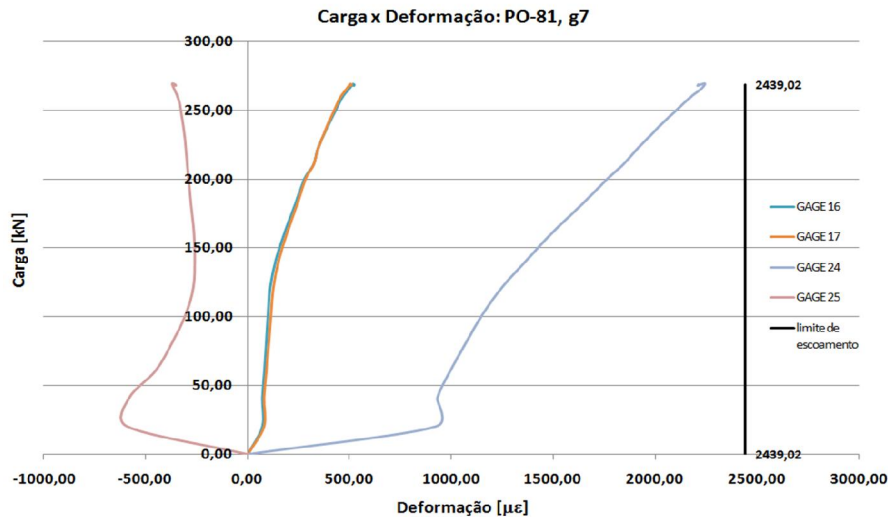


Figura 6.98 – Gráfico Carga x deformação do grupo g7.

No gráfico apresentado na **Figura 6.99** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g8, que se localizam na barra vertical número 6 que está imersa na laje de concreto.

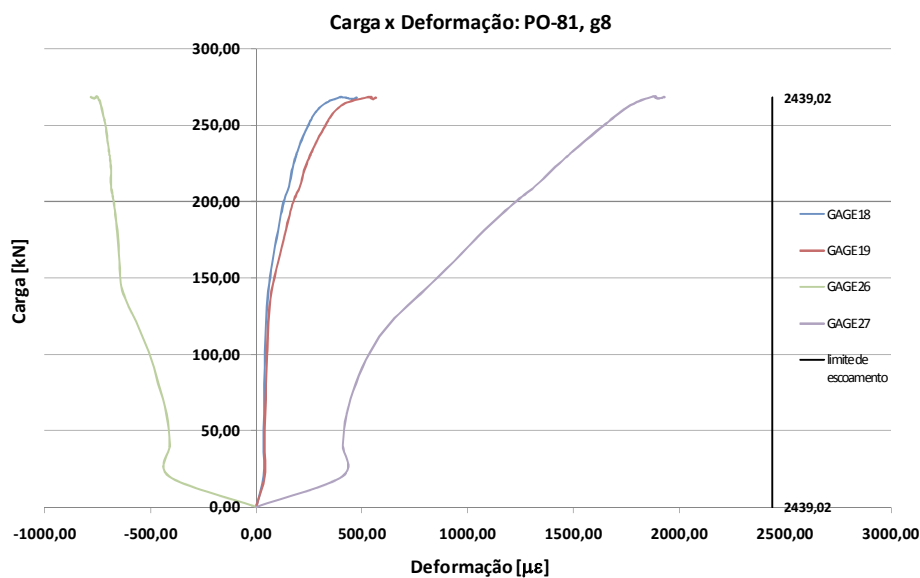


Figura 6.99 – Gráfico Carga x deformação do grupo g8.

No gráfico apresentado na **Figura 6.100** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g9, que se localizam na barra vertical número 7 que está imersa na laje de concreto.

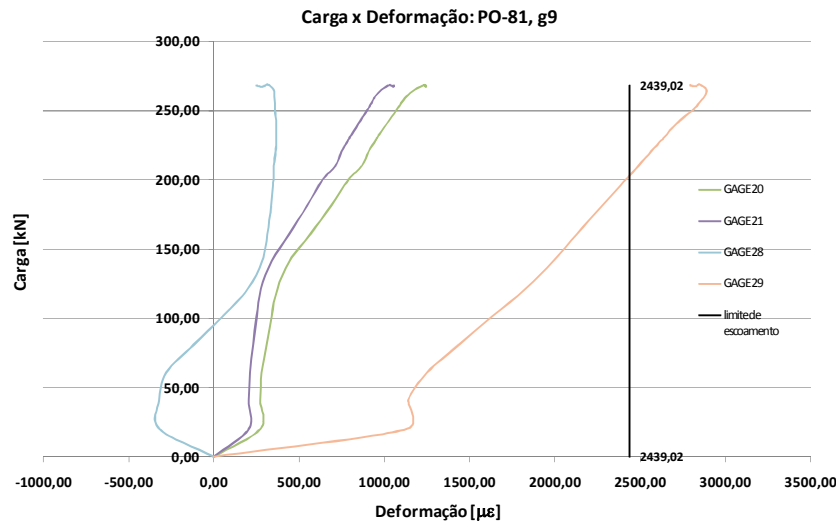


Figura 6.100 – Gráfico Carga x deformação do grupo g9.

No gráfico apresentado na **Figura 6.101** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g10, que se localizam na barra vertical número 8 que está imersa na laje de concreto.

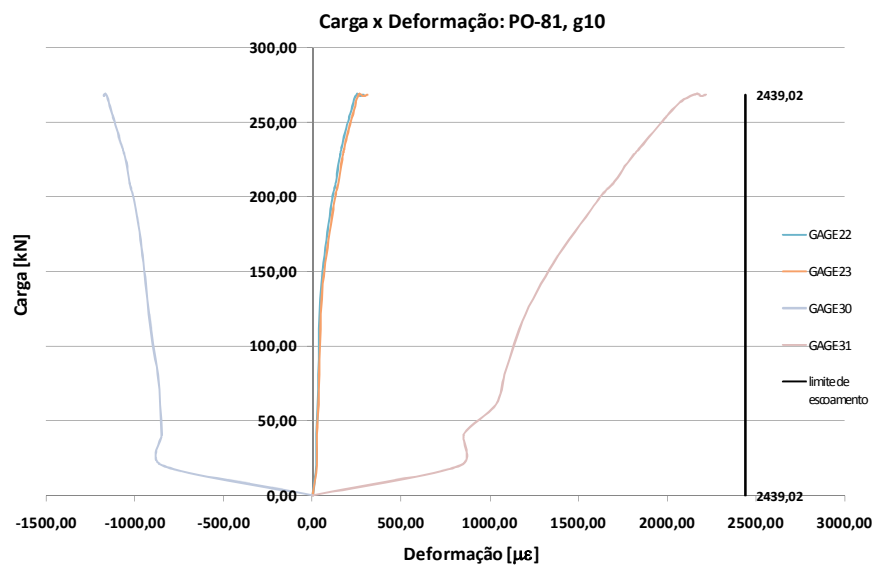


Figura 6.101 – Gráfico Carga x deformação do grupo g10.

6.4.1.2

LVDT's

A **Figura 6.102** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando que a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento ocorreu no lado I.

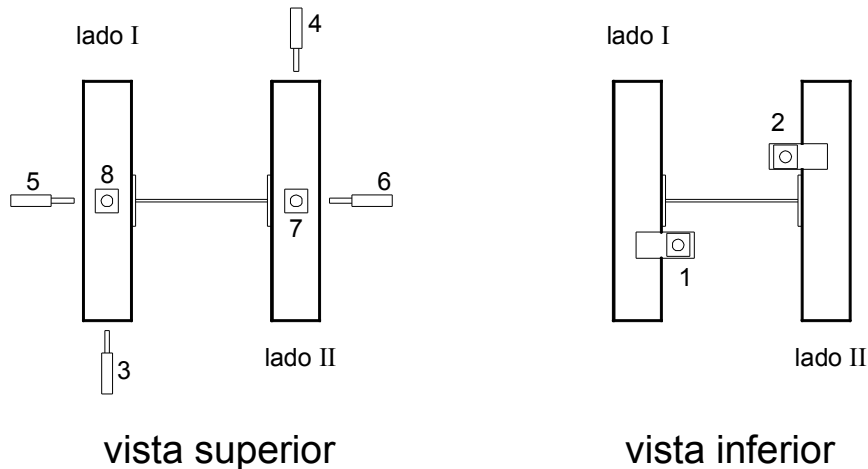


Figura 6.102 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.103** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto. Assim como os LVDT's 7 e 8 apresentam os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medidos na porção superior das lajes de concreto.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.103**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

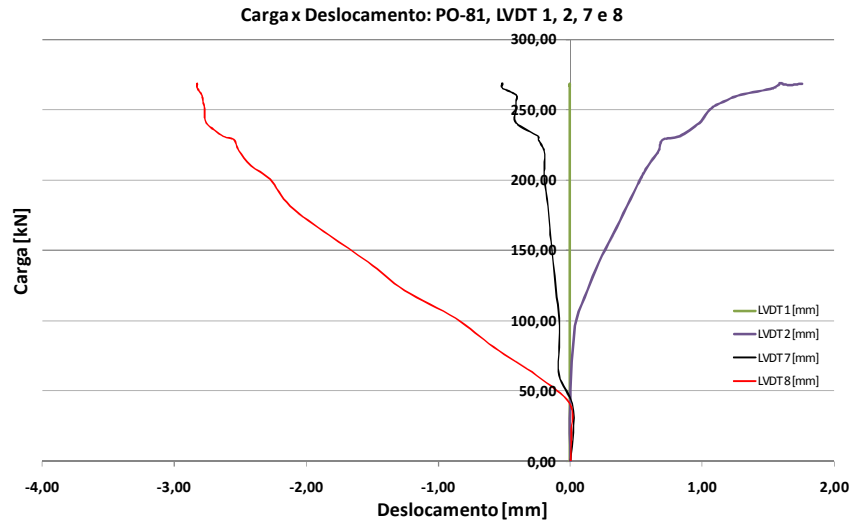


Figura 6.103 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.104** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto, e os LVDT's 5 e 6 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.104**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

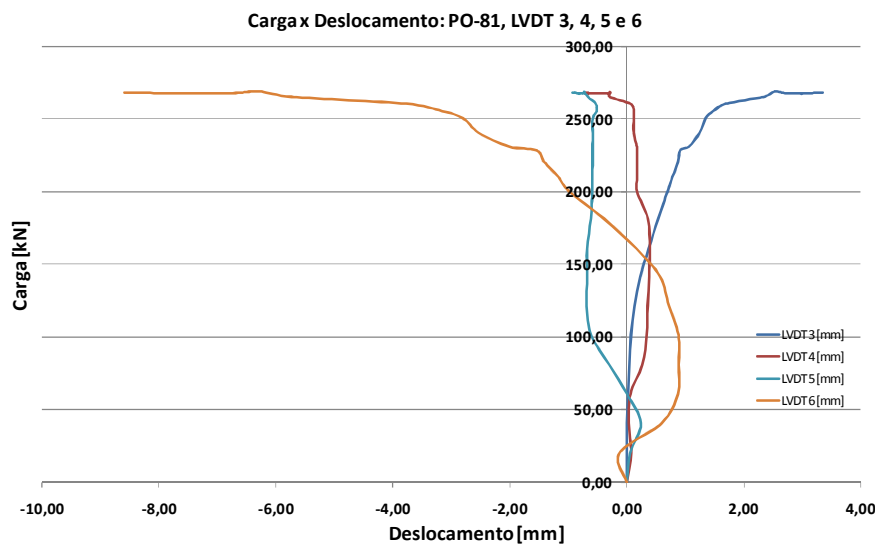


Figura 6.104 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.4.2

Ensaio PO-82

O ensaio PO-82, foi composto por 4 barras de armadura principais de 16,0mm com um comprimento de ancoragem de 300,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3, g4, g5 e g6 e o lado II pelos grupos g7, g8, g9 e g10, com três conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. Para obter um melhor aproveitamento deste ensaio, evitando a falha na solda do conector de cisalhamento, buscou-se uma alternativa estrutural de modo a obter outros possíveis modos de ruptura. Estas modificações foram comentadas no capítulo anterior e podem ser observadas na **Figura 5.75**, na qual consistia em modificar o ponto de aplicação da carga através da utilização de um perfil metálico apoiado sobre as lajes de concreto, evitando que os conectores de cisalhamento resistissem ao esforço solicitado, evitando a ruptura da solda dos mesmos. O colapso ocorreu com a ruptura da ancoragem da barra de armadura, mais precisamente no lado 1, instrumentados pelos grupo de extensômetros g3, g4, g5 e g6, a falha da ancoragem ocorreu com uma carga igual a 474,28kN.

6.4.2.1

Extensômetros Elétricos

Nos gráficos das **Figura 6.105** a **Figura 6.112** são observados o comportamento *carga x deformação* dos respectivos grupos de extensômetros g3, g4, g5, g6, g7, g8, g9 e g10 localizados nas barras imersas na laje de concreto.

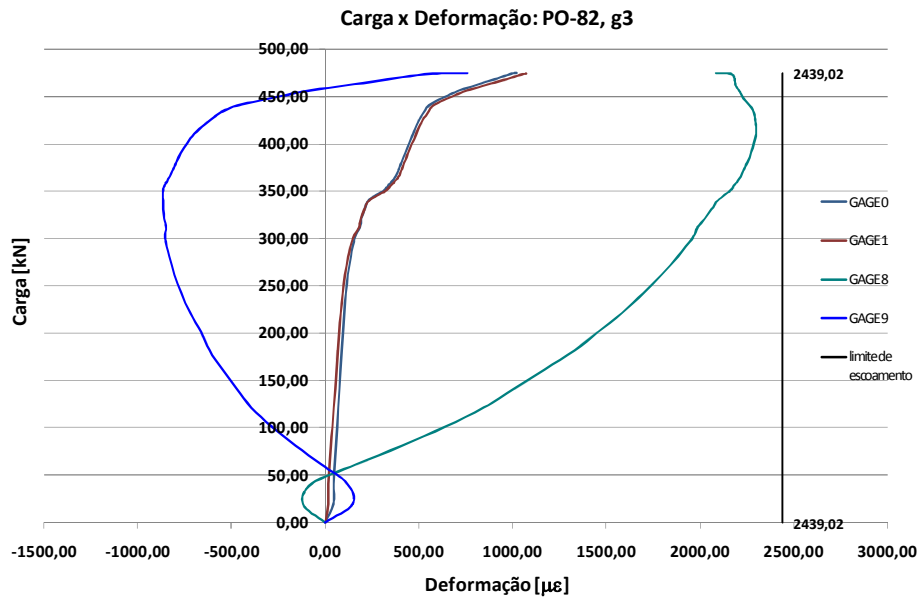


Figura 6.105 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

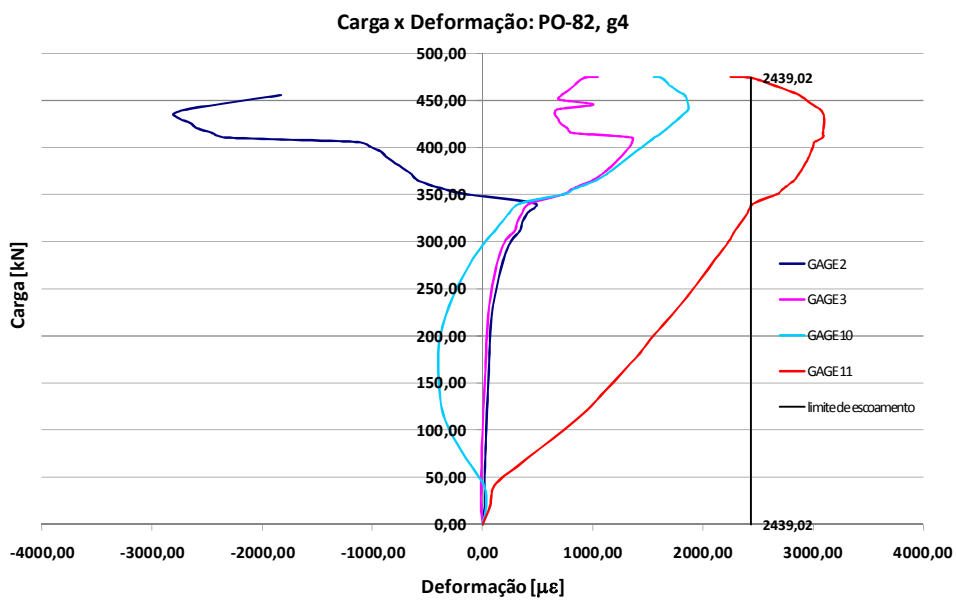


Figura 6.106 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

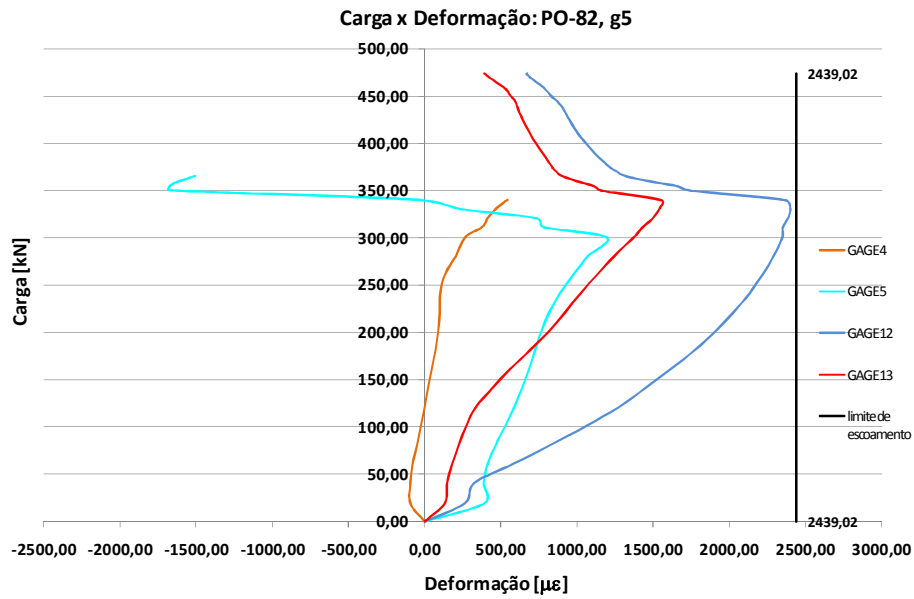


Figura 6.107 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

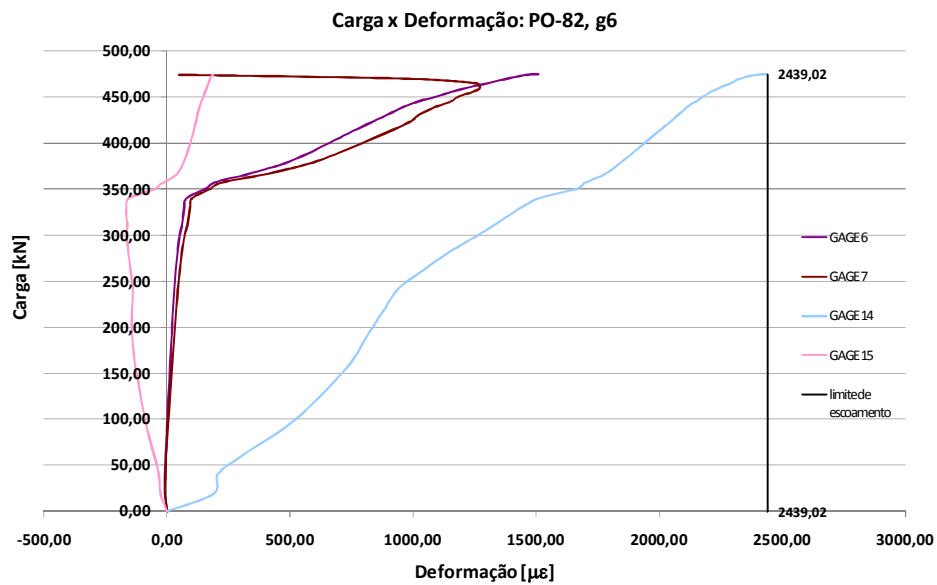


Figura 6.108 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

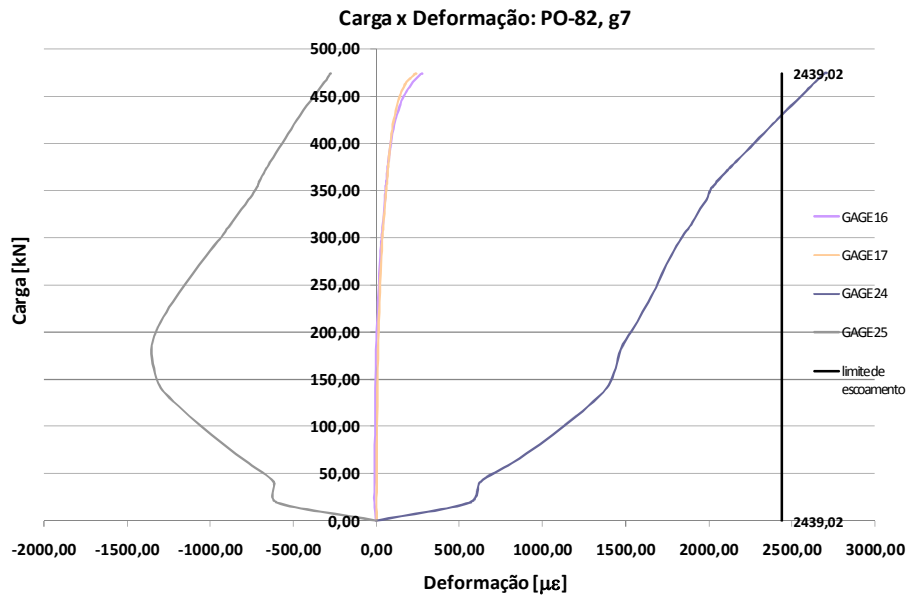


Figura 6.109 – Gráfico Carga x deformação do grupo g7.

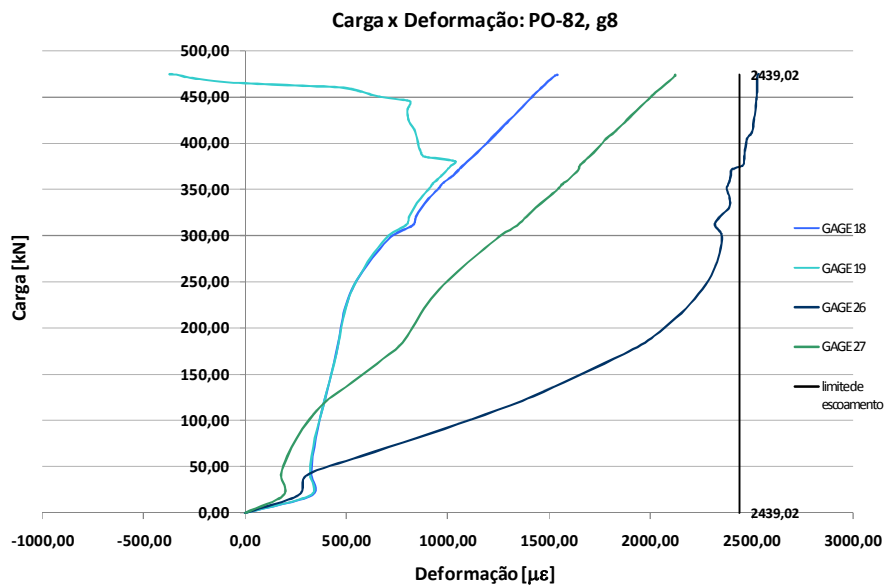


Figura 6.110 – Gráfico Carga x deformação do grupo g8.

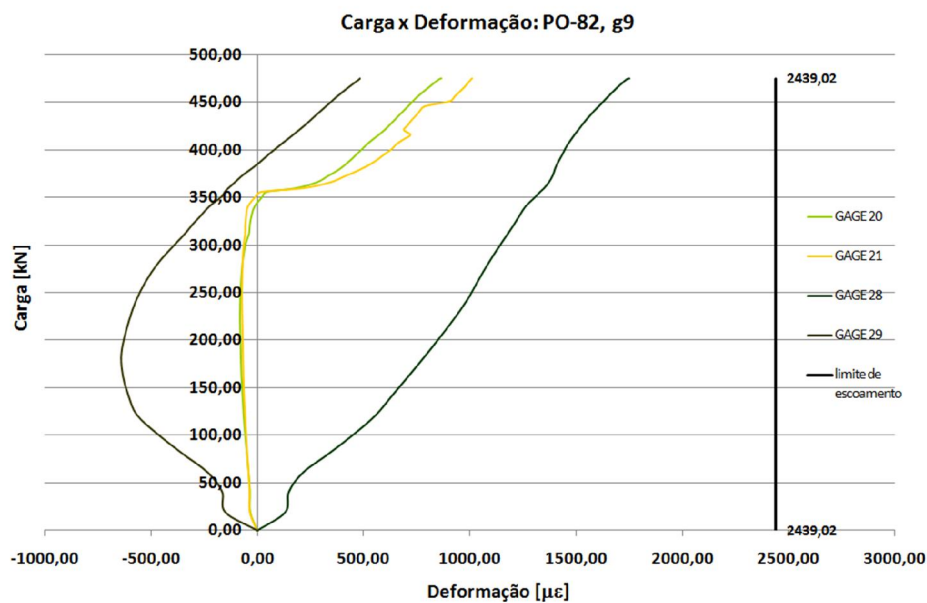


Figura 6.111 – Gráfico Carga x deformação do grupo g9.

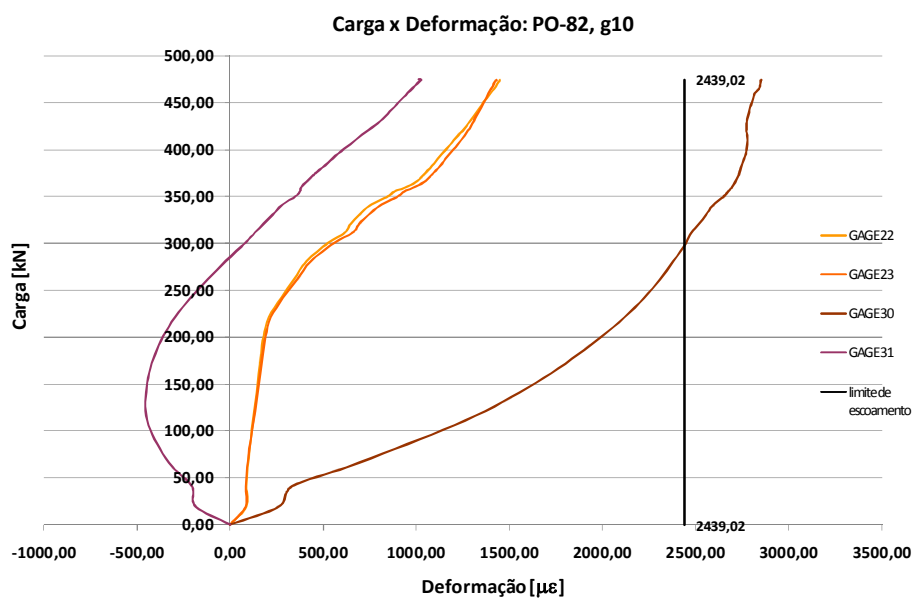


Figura 6.112 – Gráfico Carga x deformação do grupo g10.

6.4.2.2

LVDT's

A **Figura 6.113** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando-se que a ruptura por escorregamento da barra de armadura ocorreu no lado I.

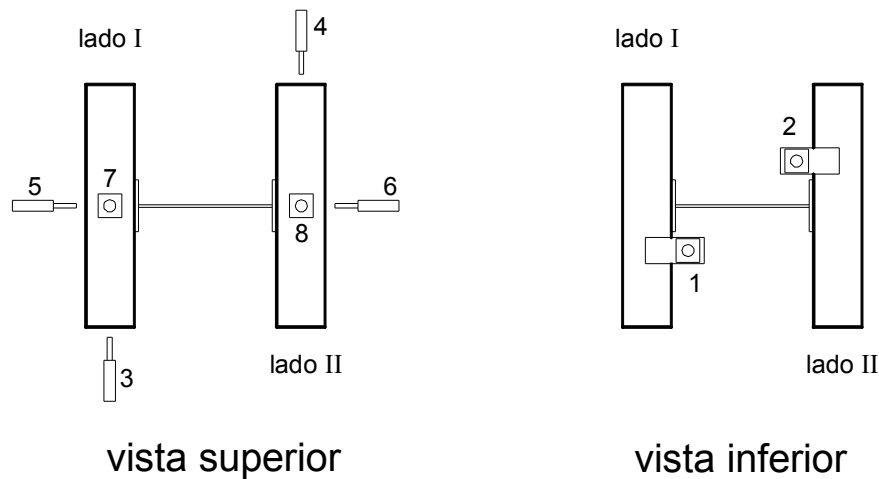


Figura 6.113 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.114** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto, e os LVDT's 7 e 8, apresentando os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medidos na porção superior das lajes de concreto.

O comportamento dos LVDT's da **Figura 6.114** demonstra que a ruptura ocorreu no lado onde estava posicionado o LVDT 7, lado I, o qual apresenta um maior deslocamento com relação ao LVDT 8.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.114**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

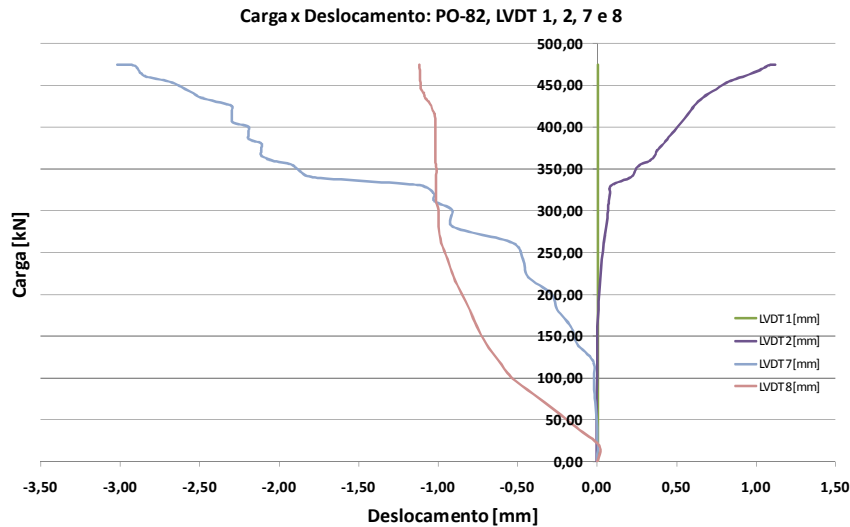


Figura 6.114 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.115** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto. Os LVDT's 5 e 6 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.115**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

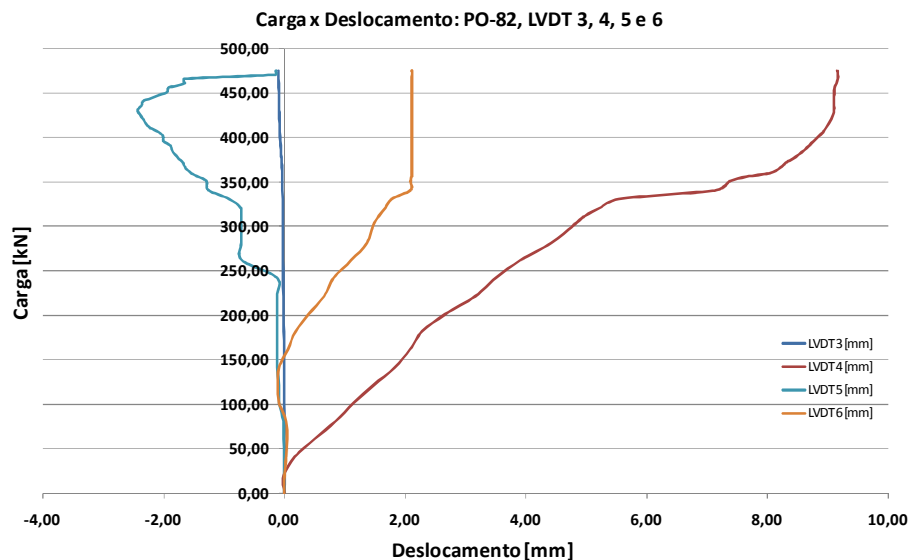


Figura 6.115 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.4.3

Ensaio PO-83

O ensaio PO-83, foi composto por 4 barras de armadura principais de 16,0mm com um comprimento de ancoragem de 300,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3 e g4, g5 e g6 e o lado II pelos grupos g7, g8, g9 e g10, com três conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. Para obter um melhor aproveitamento deste ensaio, evitando a falha na solda do conector de cisalhamento, buscou-se uma alternativa estrutural de modo a obter modos alternativos de ruptura. Estas modificações foram comentadas no capítulo anterior e podem ser observadas na **Figura 5.76**, na qual consistia em modificar o ponto de aplicação da carga através da utilização de um perfil metálico apoiado sobre as lajes de concreto, evitando a ruptura da solda dos conectores de cisalhamento. O colapso ocorreu com a ruptura da ancoragem da barra de armadura, mais precisamente no lado 2, instrumentados pelos grupo e extensômetros g7 e g8, a falha da ancoragem ocorreu com uma carga igual a 445,91kN.

6.4.3.1

Extensômetros Elétricos

Nas **Figura 6.116** até **Figura 6.123** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* dos grupo de extensômetros, localizados ao longo de cada barra.

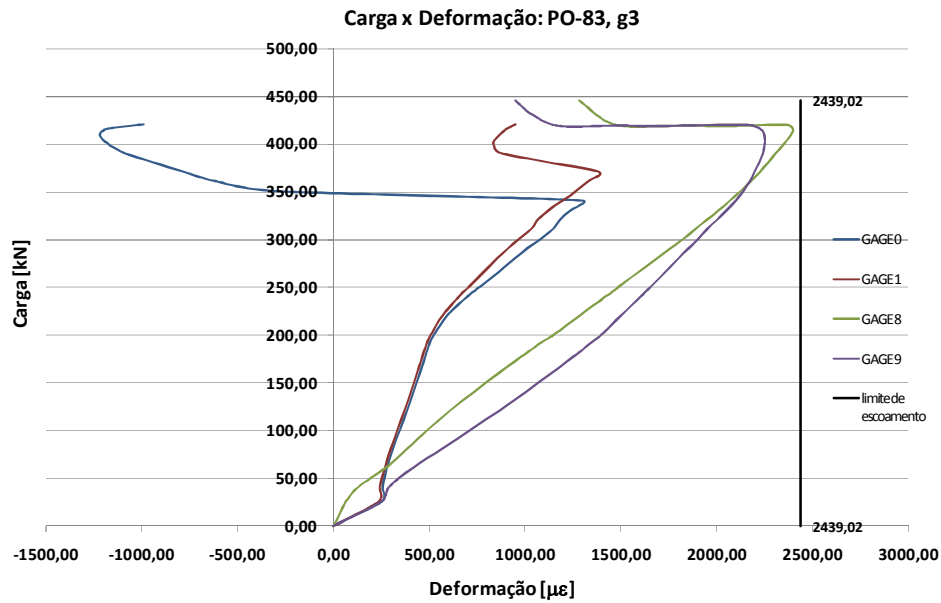


Figura 6.116 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

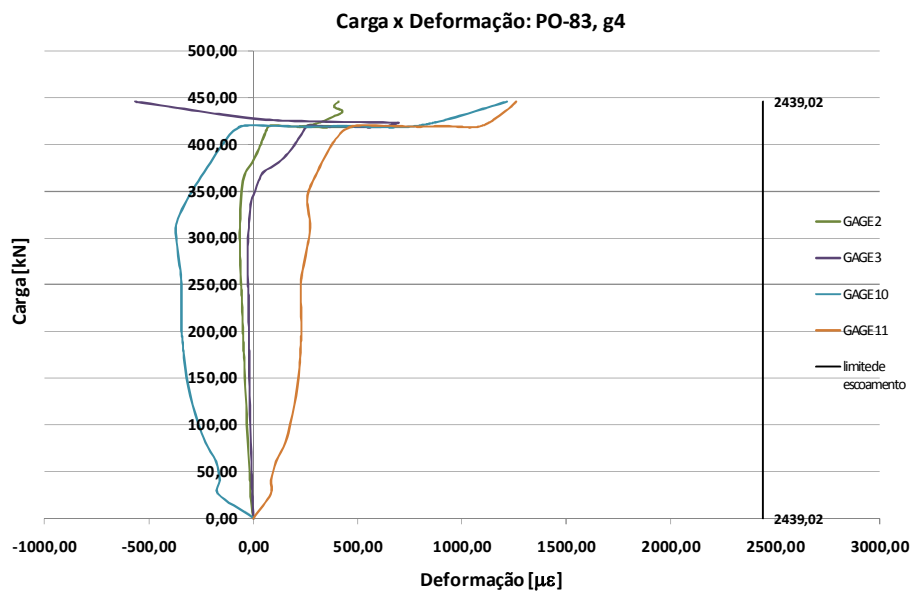


Figura 6.117 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

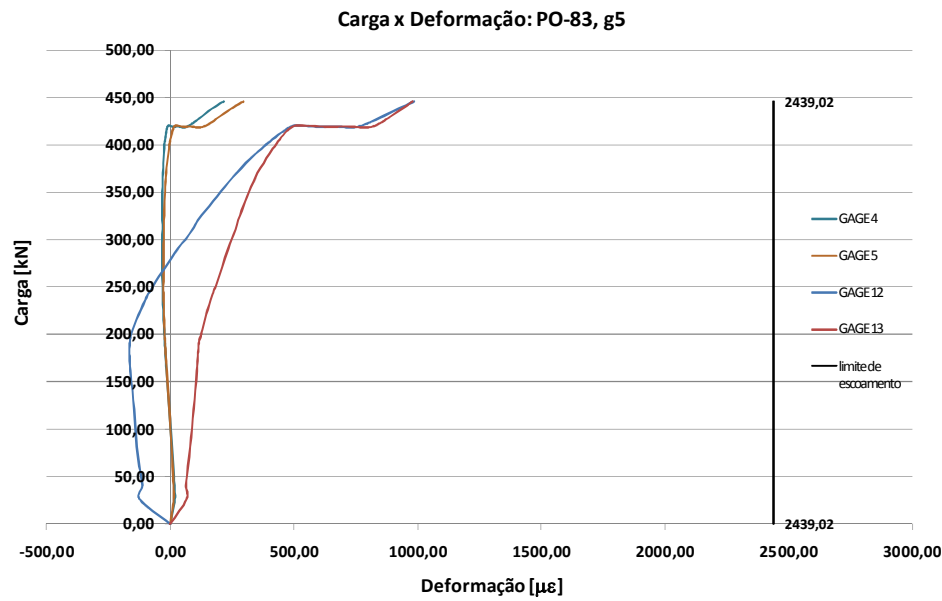


Figura 6.118 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

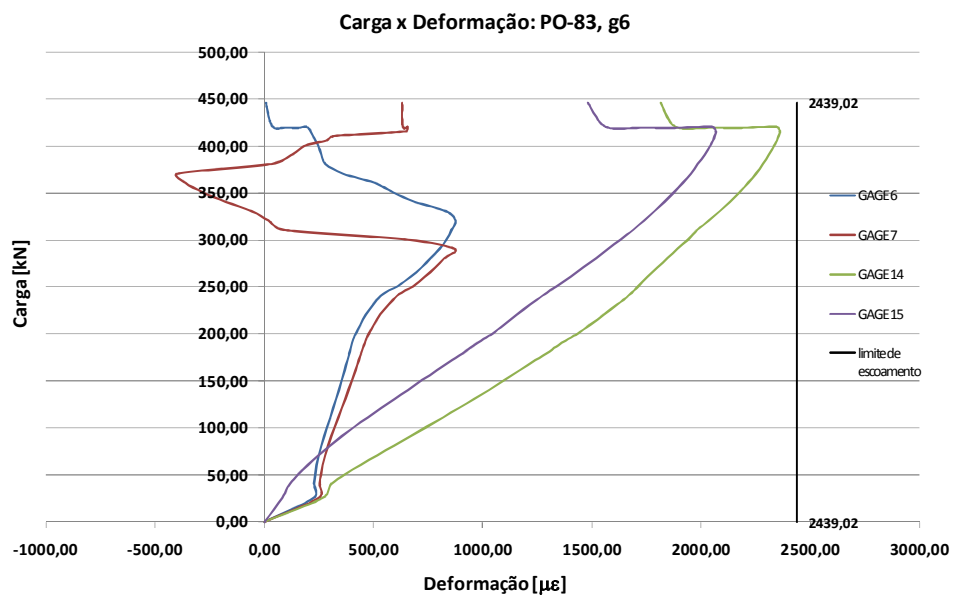


Figura 6.119 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

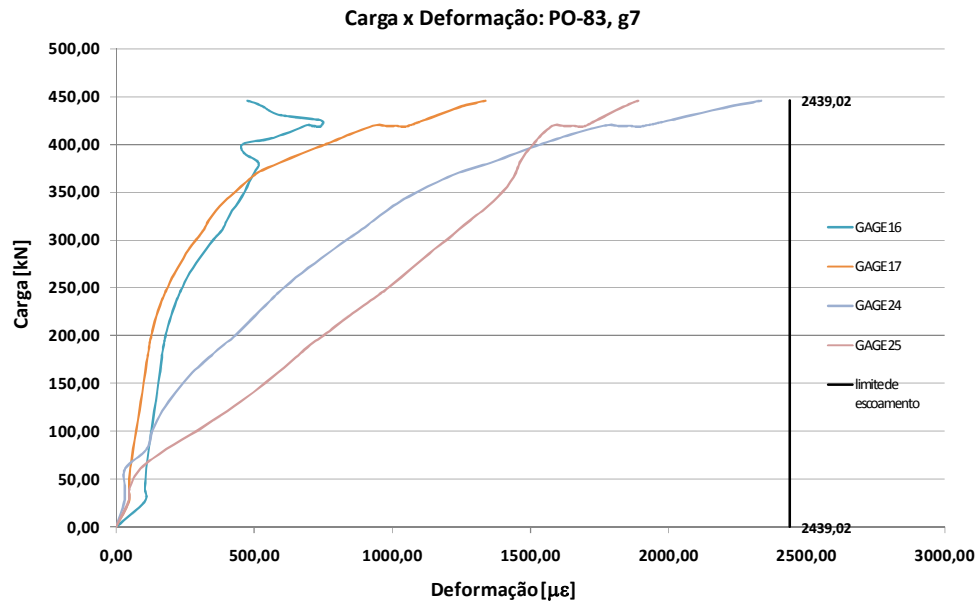


Figura 6.120 – Gráfico Carga x deformação do grupo g7.

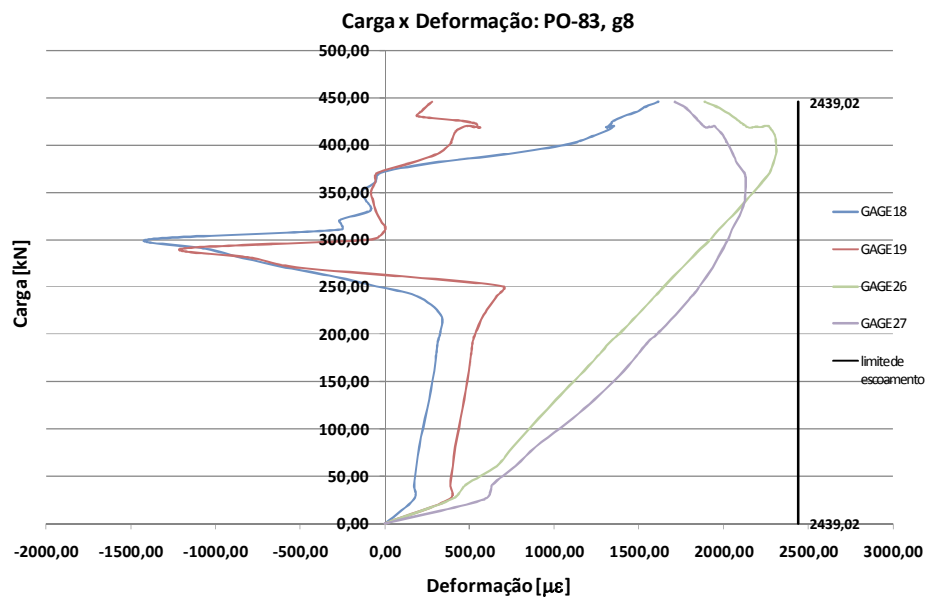


Figura 6.121 – Gráfico Carga x deformação do grupo g8.

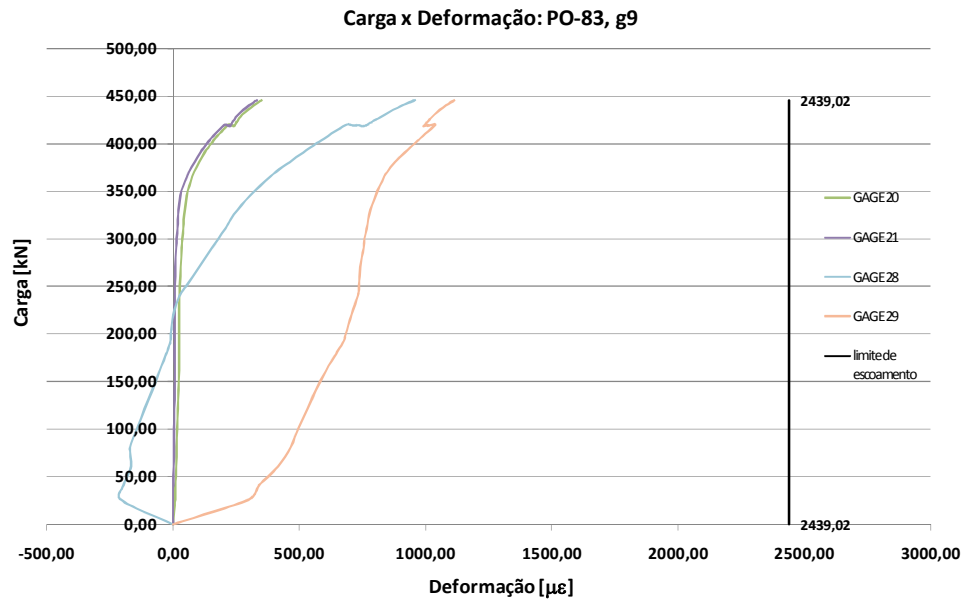


Figura 6.122 – Gráfico Carga x deformação do grupo g9.

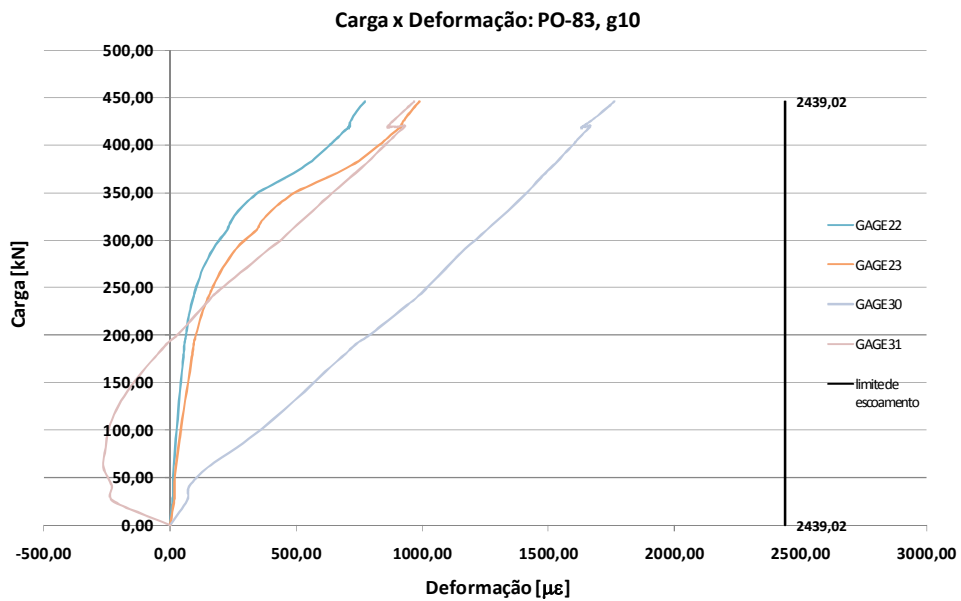


Figura 6.123 – Gráfico Carga x deformação do grupo g10.

6.4.3.2

LVDT's

A **Figura 6.124** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando que a ruptura por escorregamento da barra de armadura ocorreu no lado II.

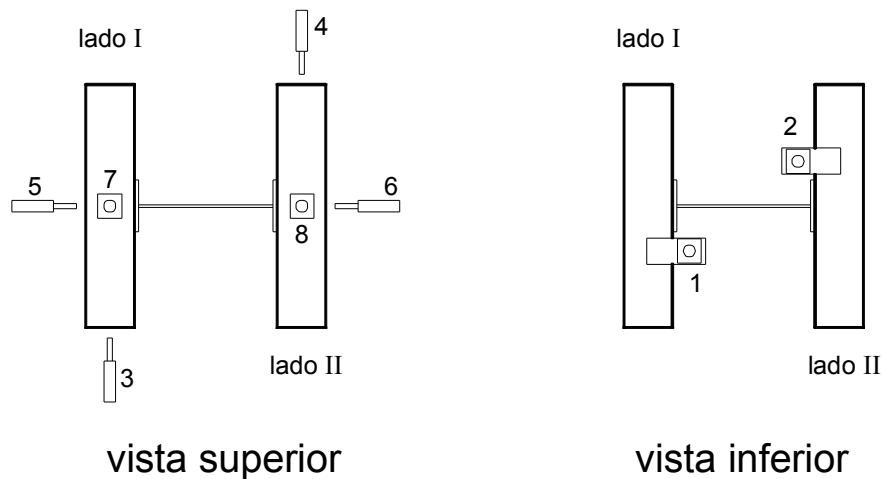


Figura 6.124 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.125** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto, **Figura 6.125**.

O deslocamento apresentado pela **Figura 6.125** apresenta a ruptura no lado 2, sendo que o LVDT do lado 1, somente acompanhou a aplicação de carga até a ruptura.

A **Figura 6.125** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 7 e 8 apresentam os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medidos na porção superior das lajes de concreto, **Figura 6.125**.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.125**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 7 e 8.

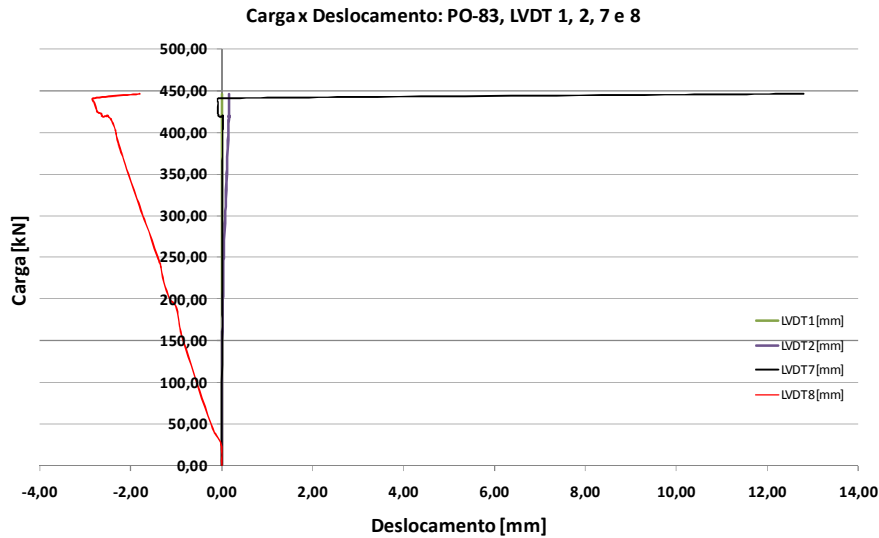


Figura 6.125 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7 e 8.

A **Figura 6.126** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 3 e 4 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da espessura das lajes de concreto. Os LVDT's 5 e 6 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto, **Figura 6.126**.

Os LVDT's apresentados na **Figura 6.126**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos horizontais, medidos nas duas direções de forma a monitorar a estabilidade da estrutura.

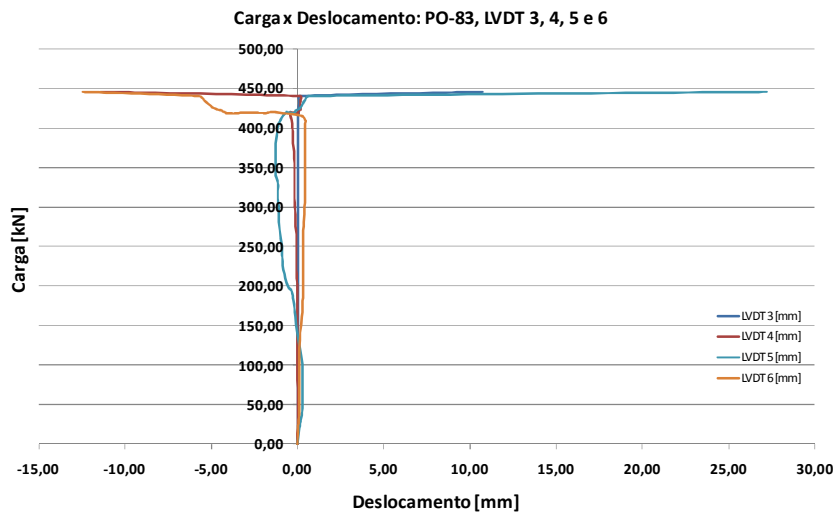


Figura 6.126 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .3, 4, 5 e 6.

6.5

Ensaio da Série PO-0X

6.5.1

Ensaio PO-0.1

O ensaio PO-0.1, foi composto por duas barras de armadura principais de 16,0mm com um comprimento de ancoragem de 650,0mm em cada um dos lados da laje, lado I e lado II, sendo o lado I representado pelos grupos g3, g4, g5 e g6 e o lado II pelos grupos g7, g8, g9 e g10, com três conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a ruptura da barra de armadura de número 1, **Figura 5.45**, com o modo de ruptura previsto, ruptura na barra de armadura, com uma carga igual a 530,00kN.

6.5.1.1

Extensômetros Elétricos

Na **Figura 6.127** é proporcionada uma visão geral da instrumentação utilizada.

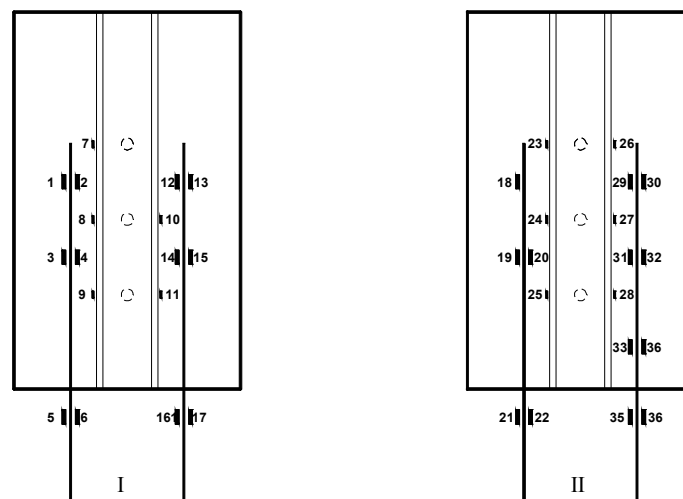


Figura 6.127 – Referência para análise de resultados

Foram divididos grupos de extensômetros distribuídos nas linhas horizontais e verticais. Grupos também foram criados para diferenciar extensômetros internos e externos ao concreto.

Os pré-ensaios diferem dos ensaios na leitura de deformação através de extensômetros colocados em varetas, pequenas barras de armadura de diâmetro de 5mm, de forma que se tornem sensíveis às deformações da laje de concreto, e deste modo, apresente o comportamento desta laje em situação tracionada, acompanhando os movimentos por ela realizados.

No gráfico apresentado na **Figura 6.128** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g2B, que se encontra fora da laje de concreto no lado II ou lado B.

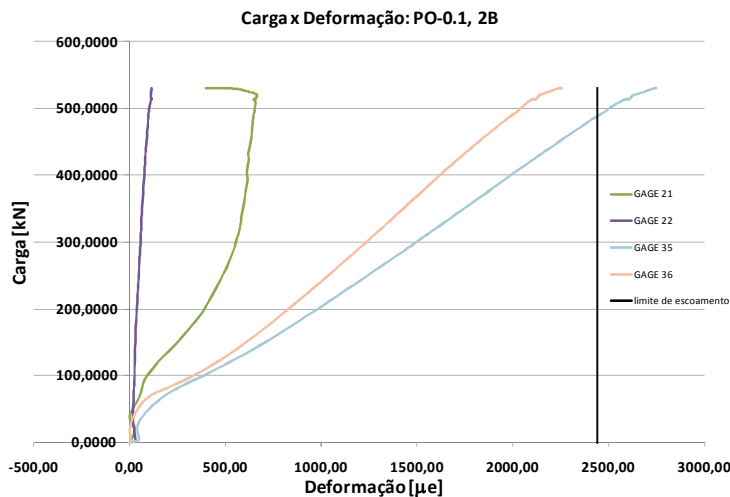


Figura 6.128 – Gráfico Carga x deformação do grupo g2B.

Pode ser observado que os extensômetros 35 e 36 da **Figura 6.128** ultrapassam o limite de escoamento.

No gráfico apresentado na **Figura 6.129** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g3, que se localiza na barra vertical número 1, lado 1, que está imersa na laje de concreto.

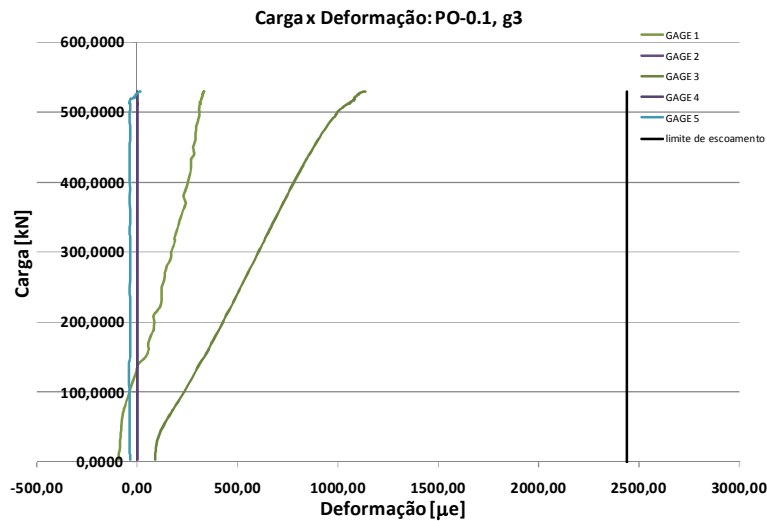


Figura 6.129 – Gráfico Carga x deformação do grupo g3.

No gráfico apresentado na **Figura 6.130** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g4, que se localiza na vareta vertical número 1, lado 1, que está imersa na laje de concreto.

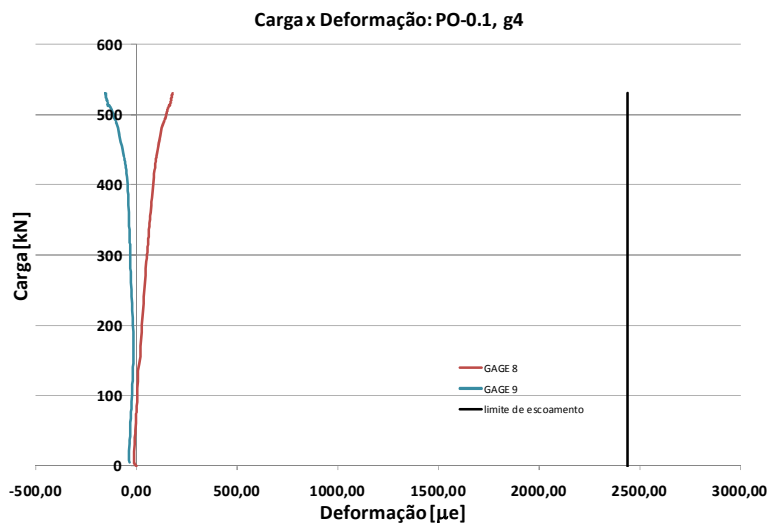


Figura 6.130 – Gráfico Carga x deformação do grupo g4.

No gráfico apresentado na **Figura 6.131** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g5, que se localizam na vareta vertical número 2, lado 1, que está imersa na laje de concreto.

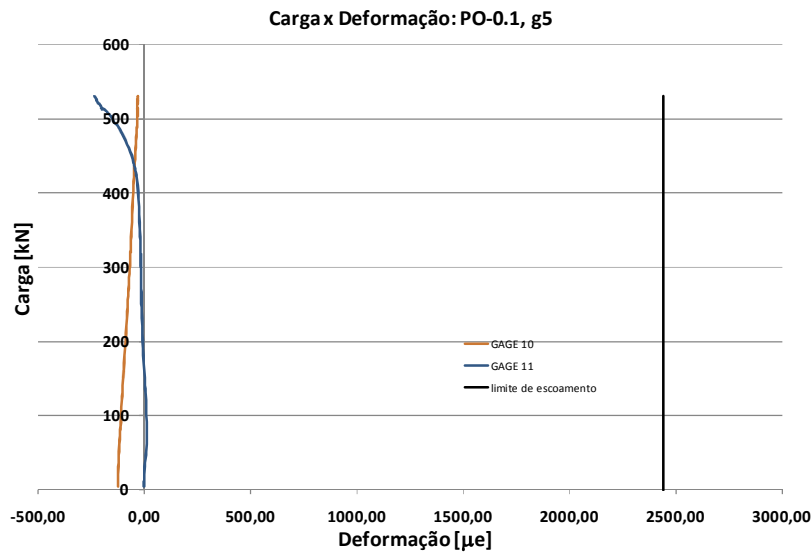


Figura 6.131 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

No gráfico apresentado na **Figura 6.132** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g6, que se localiza na barra vertical número 2, lado 1, que está imersa na laje de concreto.

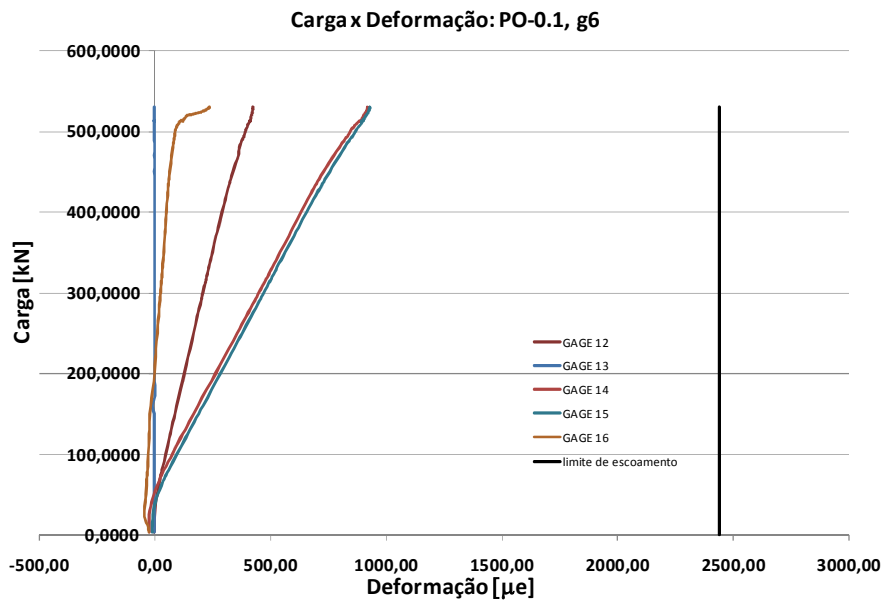


Figura 6.132 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

No gráfico apresentado na **Figura 6.133** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g7, que se localiza na barra vertical número 3, lado 2, que está imersa na laje de concreto.

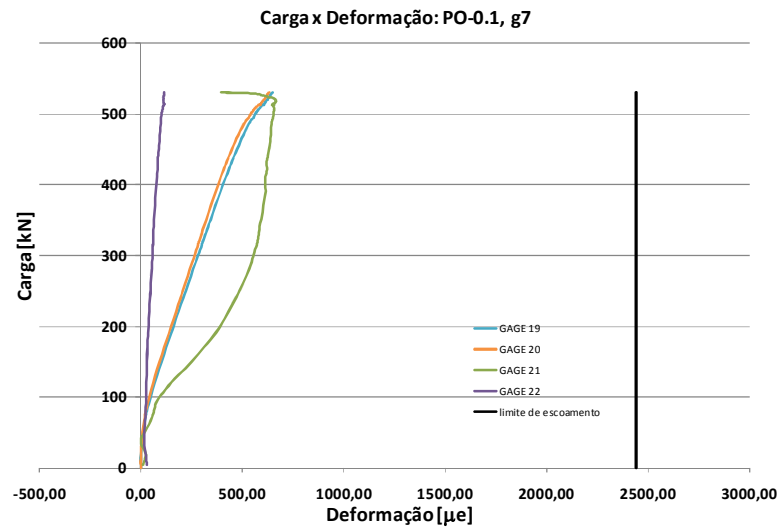


Figura 6.133 – Gráfico Carga x deformação do grupo g7

No gráfico apresentado na **Figura 6.134** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g8, que se localiza na vareta vertical número 3, lado 2, que está imersa na laje de concreto.

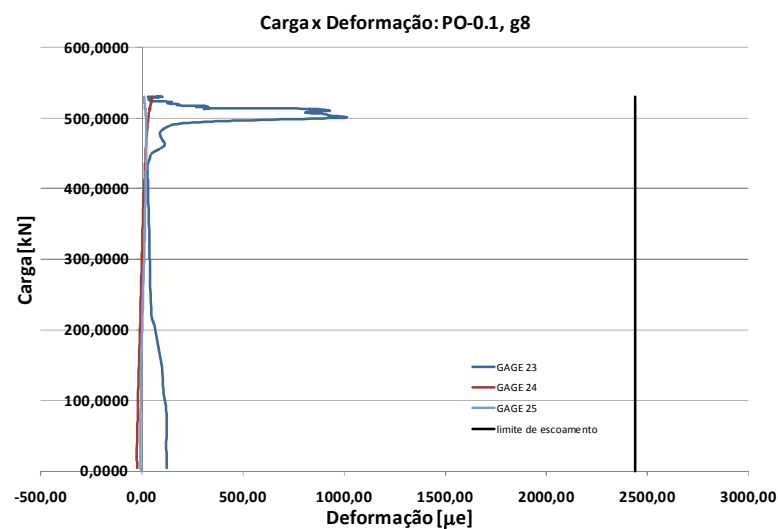


Figura 6.134 – Gráfico Carga x deformação do grupo g8.

No gráfico apresentado na **Figura 6.135** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g9, que se localiza na vareta vertical número 4, lado 2, que está imersa na laje de concreto.

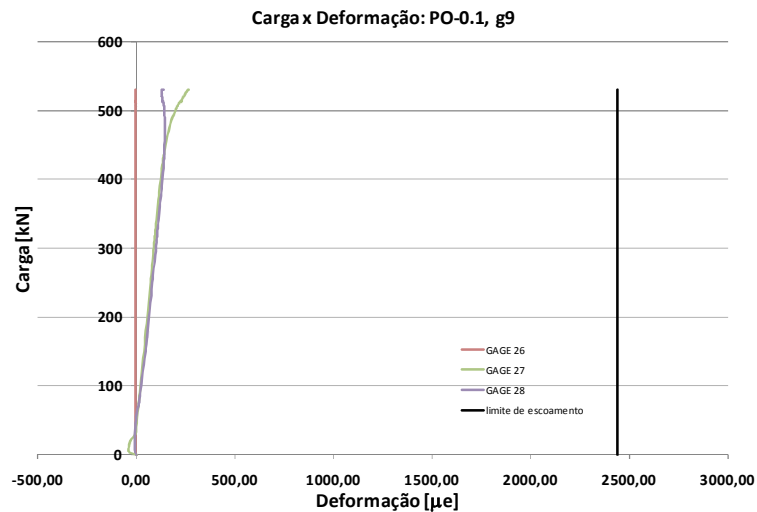


Figura 6.135 – Gráfico Carga x deformação do grupo g9.

No gráfico apresentado na **Figura 6.136** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g10, que se localiza na barra vertical número 4, lado 2, que está imersa na laje de concreto.

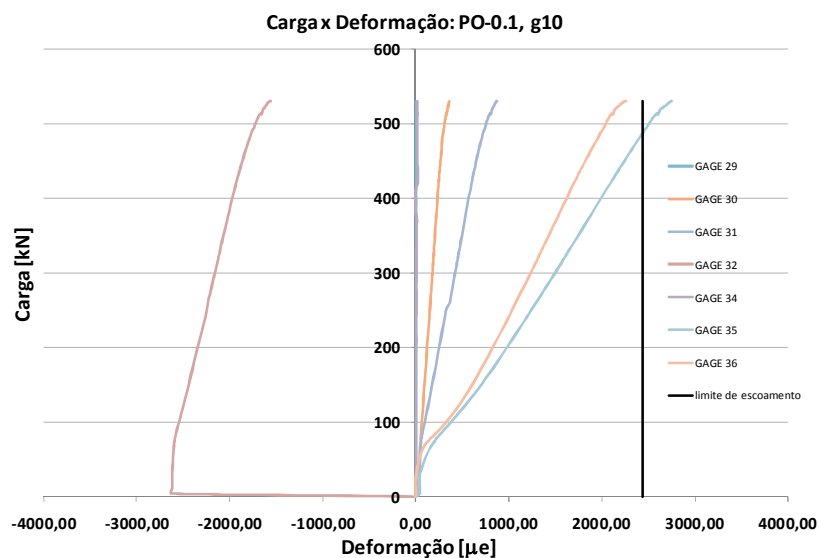


Figura 6.136 – Gráfico Carga x deformação do grupo g10.

6.5.1.2

LVDT's

A **Figura 6.137** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, nos lados I e II da laje, lembrando que a ruptura por tração da barra de armadura ocorreu no lado I.

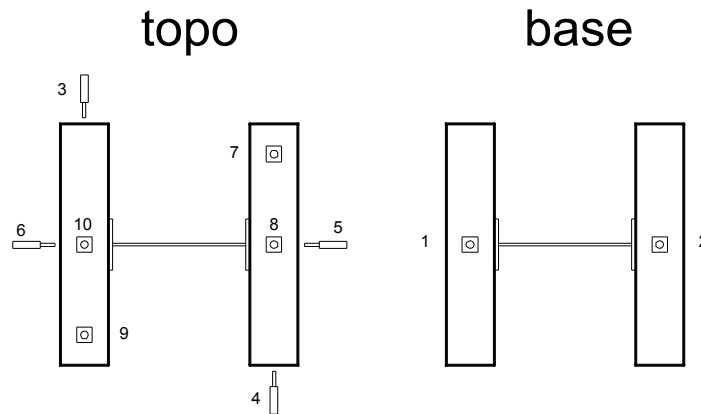


Figura 6.137 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.138** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto. O LVDT 1 apresenta uma horizontalização no seu comportamento, gerando somente deslocamento sem acréscimo de carga, representando a aproximação rápida da ruptura. Os LVDT's 8, 9 e 10 apresentam os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medida na porção superior das lajes de concreto, Figura 6.171.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.138**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 8, 9 e 10.

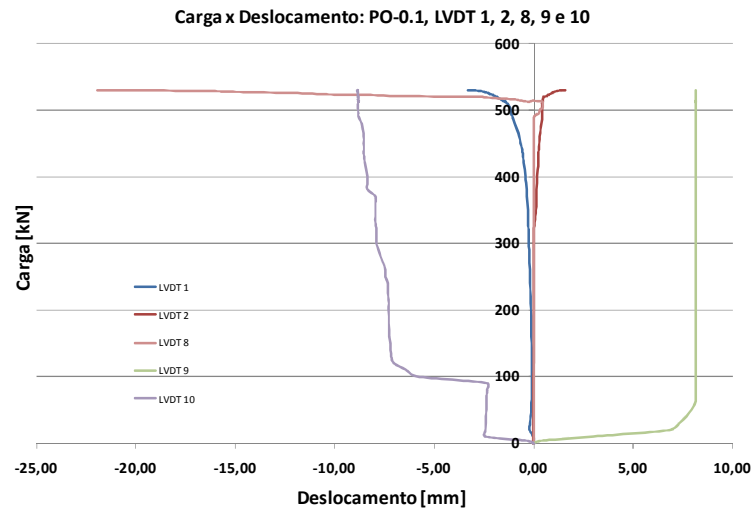


Figura 6.138 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 7, 8, 9 e 10.

6.5.2

Ensaio PO-0.2

O ensaio PO-0.2, foi composto por duas barras de armadura principais de 16,0mm com um comprimento de ancoragem de 650,0mm em cada um dos lados da laje, sendo eles lado I e lado II, sendo lado I representado pelos grupos g3, g4, g5 e g6, e o lado II pelos grupos g7, g8, g9 e g10, com dois conectores de cisalhamento soldados em cada uma das vigas. O colapso ocorreu com a ruptura de um dos conectores de cisalhamento do lado 2, **Figura 5.47**, diferente do modo de ruptura previsto, com uma carga igual a 385kN. Abaixo, é apresentado e comentado cada um dos resultados obtidos neste ensaio.

6.5.2.1

Extensômetros Elétricos

Na **Figura 6.139** é proporcionada uma visão geral da instrumentação utilizada.

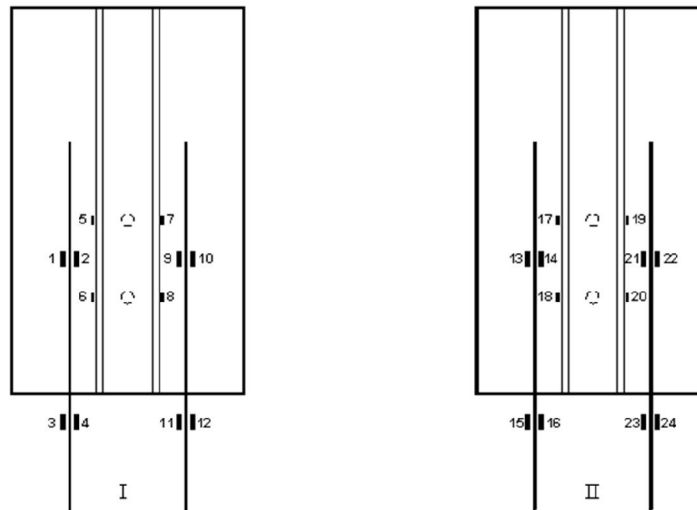


Figura 6.139 – Referência para análise de resultados

Foram divididos grupos de extensômetros distribuídos nas linhas horizontais e verticais, grupos também foram criados para diferenciar extensômetros internos e externos ao concreto.

Os pré-ensaios diferem do ensaios nas leituras de deformação através de extensômetros colocados em varetas, pequenas barras de armadura de diâmetro de 5mm, de forma que se tornem sensíveis as deformações da laje de concreto, e deste modo, apresente o comportamento desta laje em situação tracionada, acompanhando os movimentos por ela realizados. Estes extensômetros são posicionados horizontalmente, paralelos aos conectores de cisalhamento, de modo a realizem as leituras onde ocorrem as principais fissuras do concreto.

No gráfico apresentado na **Figura 6.140** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1A, que se localiza na faixa horizontal imerso na laje de concreto do lado I ou lado A. Este grupo apresenta os resultados ou comportamentos durante todo o ensaio com a influência do acréscimo de rigidez da laje de concreto, servindo de base para comparação com todas as outras análises, sendo que os restantes estavam fora da laje de concreto.

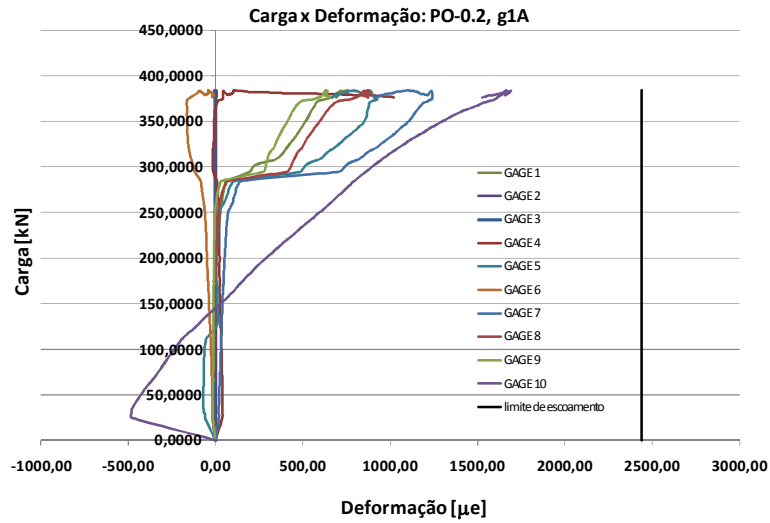


Figura 6.140 – Gráfico carga x deformação do grupo g1A.

No gráfico apresentado na **Figura 6.141** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g1B, que se encontram imersos no primeiro nível da laje de concreto do lado B.

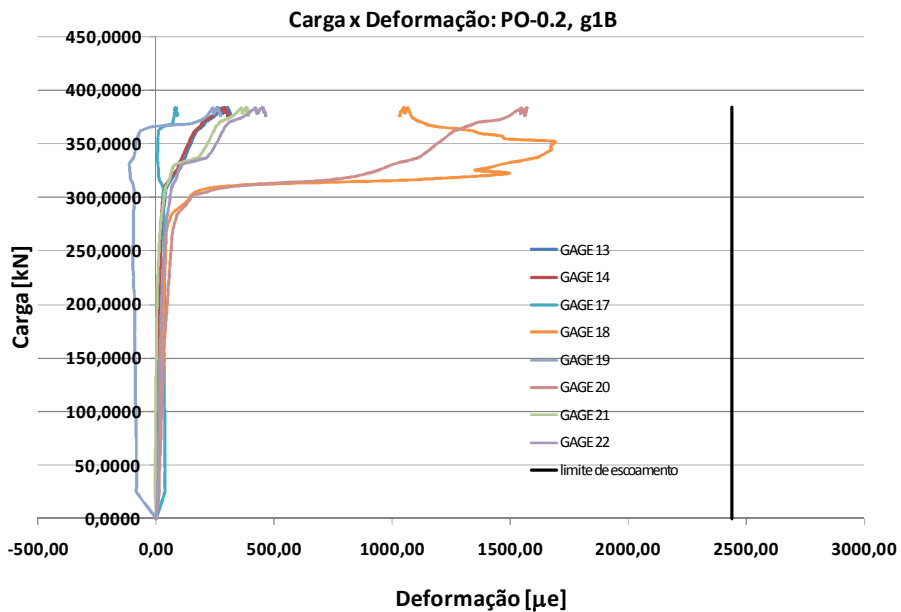


Figura 6.141 – Gráfico Carga x deformação do grupo g1B.

No gráfico apresentado na **Figura 6.142** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g2, que se localiza no lado externo à laje de concreto.

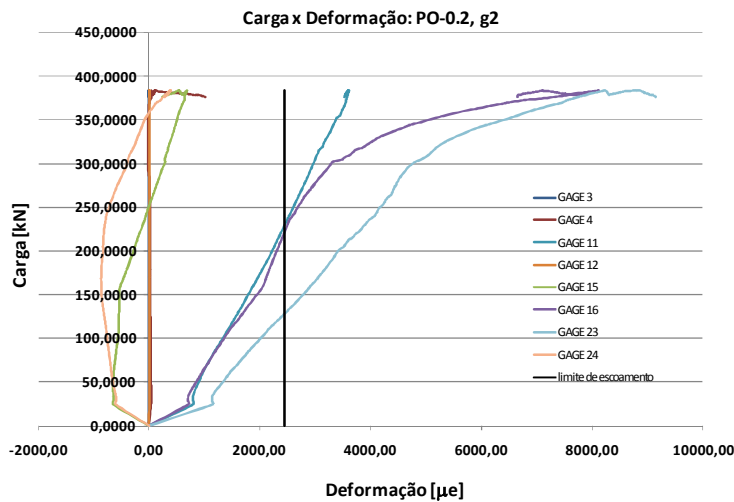


Figura 6.142 – Gráfico Carga x deformação do grupo g2.

No gráfico apresentado na **Figura 6.143** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g5, que se localiza na vareta vertical número 2, lado 1, que está imersa na laje de concreto.

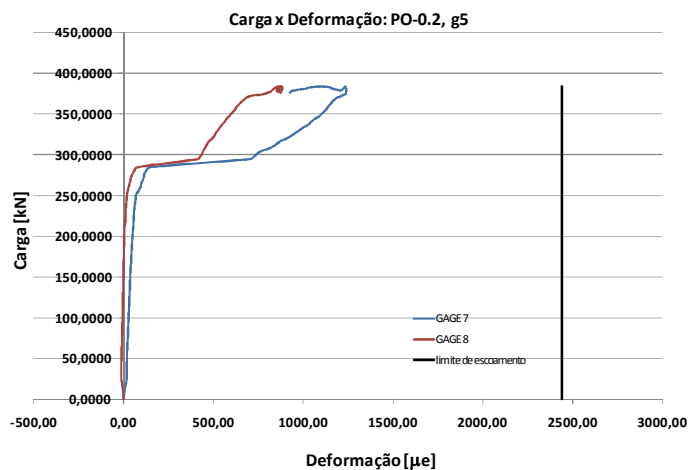


Figura 6.143 – Gráfico Carga x deformação do grupo g5.

No gráfico apresentado na **Figura 6.144** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g6, que se localiza na barra vertical número 2, lado 1, que está imersa na laje de concreto.

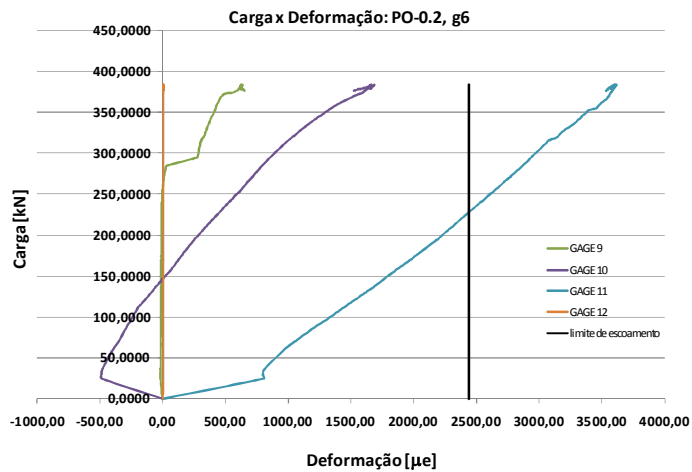


Figura 6.144 – Gráfico Carga x deformação do grupo g6.

No gráfico apresentado na **Figura 6.145** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g7, que se localiza na barra vertical número 3, lado 2, que está imersa na laje de concreto.

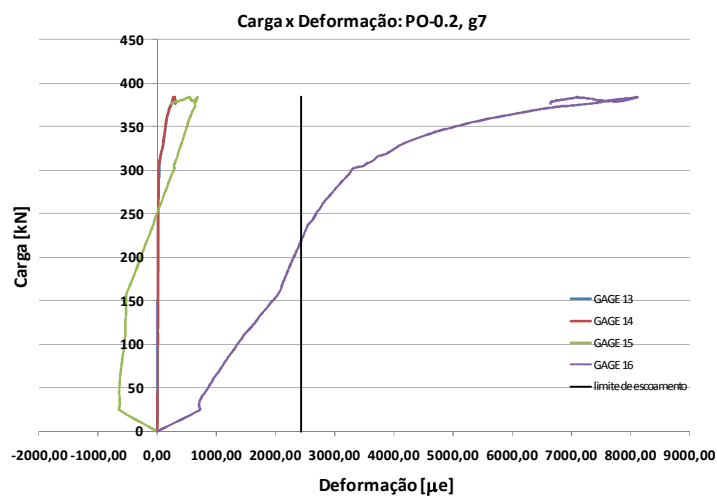


Figura 6.145 – Gráfico Carga x deformação do grupo g7.

No gráfico apresentado na **Figura 6.146** pode ser observado o comportamento *carga x deformação* do grupo de extensômetros g9, que se localizam na vareta vertical número 4, lado 2, que está imersa na laje de concreto.

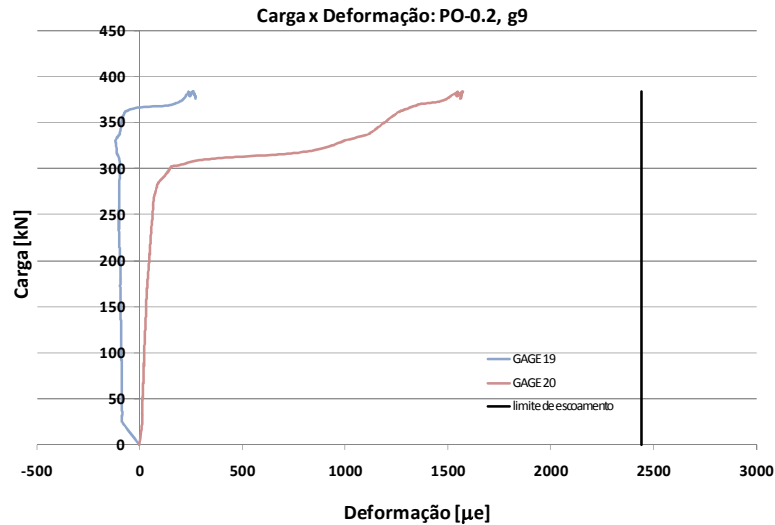


Figura 6.146 – Gráfico Carga x deformação do grupo g9.

6.5.2.2

LVDT's

A **Figura 6.147** apresenta o posicionamento dos LVDT's para medição dos deslocamentos, em cada um dos lados I e II da laje, lembrando-se que a ruptura por arrancamento da barra de armadura ocorreu no lado II.

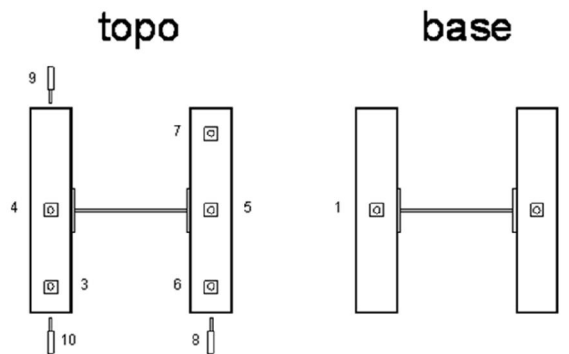


Figura 6.147 – Posicionamento dos LVDT's

A **Figura 6.148** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 1 e 2 da parte inferior que medem o deslocamento relativo entre perfil metálico e a base inferior da laje de concreto. Na mesma **Figura 6.148** apresenta a curva carga *versus* deslocamento dos LVDT's 8, 9 e 10 apresentam os deslocamento laterais do pull-out, na direção da largura das lajes de concreto, e os LVDT's 3, 6

e 7 apresentam os deslocamentos verticais do pull-out, sendo medidos na porção superior das lajes de concreto, **Figura 6.148**.

O comportamento dos LVDT's apresentados na **Figura 6.148**, combinam os resultados obtidos das leituras dos deslocamentos verticais, medidos na parte inferior da laje de concreto pelo LVDT's 1 e 2, e na parte superior pelos LVDT's 3, 6 e 7.

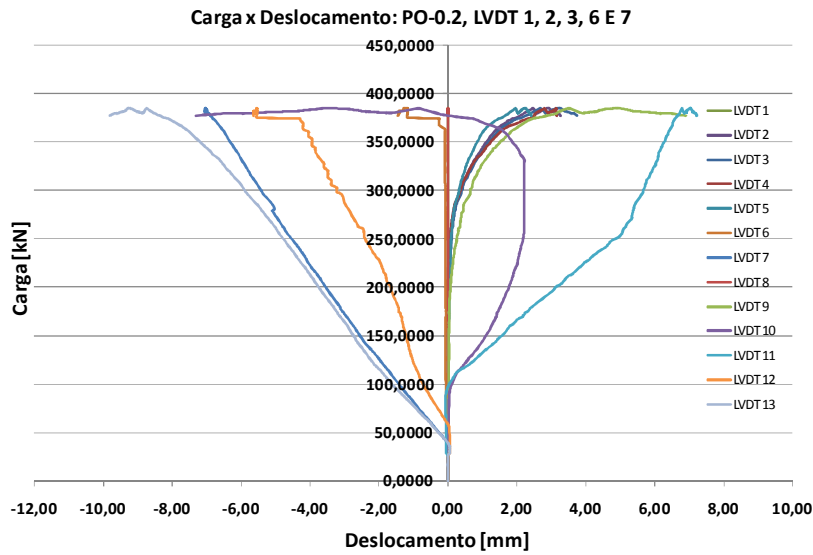


Figura 6.148 – Gráfico Carga x deslocamento dos LVDT's .1, 2, 3, 6 e 7