7
Referências Bibliográficas

ACI Committee 318. **Building Code Requirements for Reinforced concrete and commentary (ACI 318-89/ACI 318R-89).** American Concrete Institute, Detroit, 353 pp.1989.

APARICIO, A. C.; RAMOS G.; CASAS, J. R. **Testing of externally prestressed concrete beams. Engineering Structures**. N º 24, pp-73-84. 2002.

ARAÚJO, A. F. **Estudo experimental da Resistência à Flexão de Vigas Protendidas com cabos Sintéticos Externos**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC, Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

ARAUJO, A. F. e GUIMARÃES, G. B. **Estudo experimental da resistência à flexão de vigas protendidas com cabos sintéticos externos.** XXVIII Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, São Carlos, SP, 1-5 setembro de 1997. Vol. 3. pp. 985-993. 1997.

ARENAS, J. J. **Continuous Partially Prestressed Structures: European Perspective.** Partial Prestressing, From Theory to Practice, 1, Martinus Nijhoff Publishers, Boston, USA, 257-287pp, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6118:** Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7480:** Barras e fios de aço destinados a armadura para concreto armado. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Projeto de Revisão NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2000.

BRANCO, M. M. C. **Resistência a Flexão de Vigas Isostáticas Protendidas com Cabos Sintéticos Externos.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC, Rio de Janeiro, Brasil, 1993.

BRISTISH STANDARDS INSTITUTION (BS 8110)**. Structural Use os Concrete.** London. 1985.

BURGOYNE, C. J. **Structural applications of Type G Parafil",In: Symposium on Engineering Applications of Parafil Ropes**. Ed. Imperial College, London, Department of Civil Engineering, January, pp.39-48. 1988.

BURGOYNE, C. J. ; GUIMARÃES, G.B; CHAMBERS, J.J , **Tests on Beams Prestressed withUnbonded Polyaramis Tendons.** Technical report No. CUED/D, Struct/TR 132, Department of Engineering, University of Cambridge, 38pp. 1991.

BURGOYNE, C.J. **Structural applications of type G Parafil**: Alternative Materials for the Reinforcing and Prestressing of Concrete. Chapter 1 , Edited by J.L.Clarke, Blackie Academic and Professional. pg 1-33. 1993.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

CAMPOS, C. M. O. **Um Modelo Computacional para Análise de Vigas de Concreto Protendidas com Cabos Aderentes e Não Aderentes**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC, Rio de Janeiro, Abril, 83pp. 1993.

CAMPOS, C. M. **Análise do Comportamento à Flexão de Vigas Protendidas com Cabos Externos Sintéticos**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, PUC, Rio de Janeiro. 1999.

CAMPOS, C.M.O. **Redistribution of moment in continuous beams prestressed with external syntetic tendons.** III International Conference on Composites in Constuction, Porto, Portugal, outubro, 2001.

CAMPOS, C.M.O.; GUIMARÃES, G.B.; BURGOYNE, C.J. **Rotation capacity of beams prestressed with synthetic external tendons**. V International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-5), Cambridge, Inglaterra, julho, 2001.

CAMPOS, C.M.O.; GUIMARÃES, G. B. **Modelo Rígido-Plástico para Análise de Vigas Protendidas com Cabos Não Aderentes.** IV Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, São Paulo, SP, 21-25 agosto, 2000.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (CAN3. A23.3-M94) **Design of Concrete Structures for Buildings.** Canada, 1994.

CEB-FIP. **CEB-FIP Model Code 1990 - Final Draft**, Bulletin D`Information, No 203, Comité Euro-International du Beton (CEB), 1990.

COHN, M. Z. **Continuity in Prestressed Conrete.** Partial Prestressing, From Theory to Practice, 1, Martinus Nijhoff Publishers, Boston, USA, 189-256pp, 1986.

DÉSIR, J. M. **Análise Não- Linear de Vigas Contínuas em Concreto com Protensão Externa.** Tese de Mestrado, COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro. 1993.

FORMAGINI, S. **Influência da Resistência do Concreto sobre o Comportamento à Flexão de Vigas Protendidas com Cabos Sintéticos Externos.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC, Rio de Janeiro, Julho, 1999.

FOURÉ, B. et al. **Flexual Behaviour of Externally Prestressed Concrete Beams, Monolithic or Made Precast Segments**. In: Workshop – Behaviour of External Prestressing instructures, Saint-Rémy-Les-Chevreuse, França. Jun, 1993.

GUIMARÃES, G. B. **Rehabilitation of concrete structures using polyaramid tendons.** Proceedings of Repair and Rehabilitation of the Infrastructure of the Americas, University of Puerto Rico, Mayaguez, Puerto Rico, , pp. 207-222. August, 1994.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

HOANG, L.H.; MENEZES ,N. C.; PASQUIGON, M**. Comportement en Flexion au Voisinage d'un Joint entre Éléments Préfabriqués**. Dossier de Recherche 22005 et 2213-6-026, Phase A, Contrat SETRA-ITP, Août, 1990.

KAKIZAWA, et al. **Magnetic Characteristics of the 3-Dimensional FRP Reinforcement Used for Non-Magnetic Camber**. Non-Mettalic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures: Proceedings of the Second International RILEM Symposium (FRPRCS-2) - Edited by L.Taerwe, pp124-13. 1995.

KODUR, V.K.R.; CAMPBELL, T.I. **Factors Governing Redistribution of Moment in Continuous Prestressed Concrete Beams.** Structural Engineering and Mechanics, Vol.8, No.2, pp.119-136. 1999.

KODUR, V.K.R; CAMPBELL, T.I. **Evaluation of Moment Redistribution in a Two-Span continuous Prestressed Concrete Beams.** American Concrete Institute (ACI) Structural Journal , 93(6), 721-728pp. 1996.

LIN, T.Y.; BURN, N.H. **Design of Prestressed Concrete Structure**s. 3rd ed., JohnWiley and Sons, Inc. New York, pp. 641.1981.

LOPES, S.M.R.; HARROP, J.; GAMBLE, A.E. **Study of Moment Redistribution in Pretressed Concrete Beams.** Journal of Structural Engineering, Vol.123, No.5, pp.561-566. Maio, 1997.

MARTINS, P.C.R. **Modélisation du Comportement Jusqu'à la Rupture en Flexion de Poutres en Béton à Précontrainte Extérieure ou Mixte.** D. Sc. Thesis, Ecole centrale Paris, France. 1989

MENEZES, N. C.; FOURÉ, B. **Essais Complémentaires sur le Comportement en Flexion des Poutres à Voussoirs Préfabriqués.** Dossier de Recherche 91037 et 2212-9-026, Phase D, Contrat SETRA-CEBTP - 1993, Décembr, 1993;

MOUCESSIAN, A. **Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete beams.** PhD thesis, Queen´s Univ. at Kinston, Kinston, Canada. 1986.

MOUCESSIAN, A.; CAMPBELL, T.I. **Prediction of the Load Capacity of Two-Span Continuous Prestressed Concrete Beams.** PCI Journal, V33, N^{o} 2, 130-151pp. Mar-Apr, 1988.

RAMOS, G. **Estudio del comportamento en Servicio, Prerotura y Rotura de Puentes de Hormigón com Pretensado Exterior**. Tese de Doutorado, Universilat Politècnica de Catalunya, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Barcelona, Espanha. 1994.

REGIS, P.A. **Estudo Teórico-Experimental do Comportamento de Vigas em Concretocom Protensão Externa** , Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Setembro, 141 pp. 1997.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

SAEKI, N.; HORIGUCHI, T.; HATA, S. **Plastic Performance of Reiforced concrete Beams by Using External Prestressing of Aramid Fibre Cables**. Non-Metalic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, August, 1995

SIKA NEWS. **Os caminhos da Linha Amarela.** Edição trimestral, ano1, nº 2 out/ nov/ dez . 1997.

SILVA, P. J.C. **Redistribuição de momentos Fletores em estruturas hiperestáticas.** Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 218 pp.Março, 1977.

SUGITA, M. **NEFMAC Grid Type Reinforcement** - Alternative Materials for the Reinforcement and Prestressing of Concrete - Edited by J.L.Clarke, pp. 55-82. 1993.

TAERWE, L.R, LAMBOTTE, H.; MIESSELER, H.J. **Loading Test on Concrete Beams with Glass Fiber Tendons.** PCI Journal - Vol. 37 -July./Aug -No. 4, pp 84-87. 1992

TANIGUCHI, H.; MUTSUYOSHI, H.; MACHIDA, A. **Flexural Behavior of externally Prestressed Concrete Beams Using CFRP and Aramid rope Under Static and Loading.** Non-Metalic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, vol. 2. Oct. 1997.

TAVARES, M.E.N. **Estudo Experimental de Vigas de Concreto Protendido: Influência da variação da Aderência Aço - Concreto na Flexão.** Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 297 pp. 2000.

TEZUKA, M.; OCHIAI, M. **Experimental Study on Moment Redistribution of continuous Beams Reinforced or Pretensioned with Fiber Reinforced Plastic** Proceedings of the Second International RILEM Symposium (FRPRCS-2), Edited by L.Taerwe, Agosto, pp.387-394. 1995.

TSUJI, Y.; KANDA, M.; TAMURA, T. **Applications of FRP Materials to Prestressed Concrete Bridges and Others Structures in Japan** - PCI Journal - Vol. 38 - July/Aug - No. 4, pp 50-58. 1993.

VIRLOGEUX, M. **La précontraite extérieure**. In: Journée d'étude AFPC – ITBIP – Innovation dans de domaine des ouvrages d'art en béton précontraint. Anais do ITBTP, dec. 1983.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

Apêndice A
Resumo das principais características e propriedades dos cabos *Parafil*

A.1.
Introdução

Neste apêndice é apresentado um resumo das principais características e propriedades dos cabos *parafil* conforme Guimarães (1988) e Branco (1993). O objetivo é fornecer algumas informações básicas sobre os cabos *parafil*, como a relação tensão deformação, sistema de ancoragem, perdas de protensão e efeitos térmicos.

A.2.
Características e Propriedades do Cabo *Parafil*

Os cabos *parafil* (PARalell FILaments) são constituídos de fibras dispostas paralelamente no núcleo e envolvidas por uma bainha de polietileno cuja função é manter a configuração circular do cabo e proteger as fibras contra a abrasão e os raios ultravioletas que provocam a degradação do material ao longo do tempo.

Estes cabos são produzidos em três tipos básicos (tipo A, F e G) que diferem um do outro pelo material de composição do núcleo. O cabo tipo A é feito com fibras de polyester, enquanto os tipos F e G são produzidos com fibras *kevlar* 29 e 49 respectivamente. Desses o mais adequado para aplicação em estruturas é o tipo G, em virtude de seu maior módulo de elasticidade. A tabela A.1 mostra as caraterísticas mecânicas dos cabos *parafil.*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

Tabela A.1 - Propriedades mecânicas dos cabos *Parafil.*

Cabo (tipo)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Deformação à ruptura (%)
A	617	12000	5,1
F	1926	77700	2,1
G	1926	126500	1,5

A relação tensão - deformação para o *parafil* tipo G é mostrada na Figura A.1 junto com uma curva típica correspondente ao aço de protensão. Observa-se que a relação para o parafil é linear até a ruptura e que o módulo de elasticidade é aproximadamente 2/3 do módulo do aço.

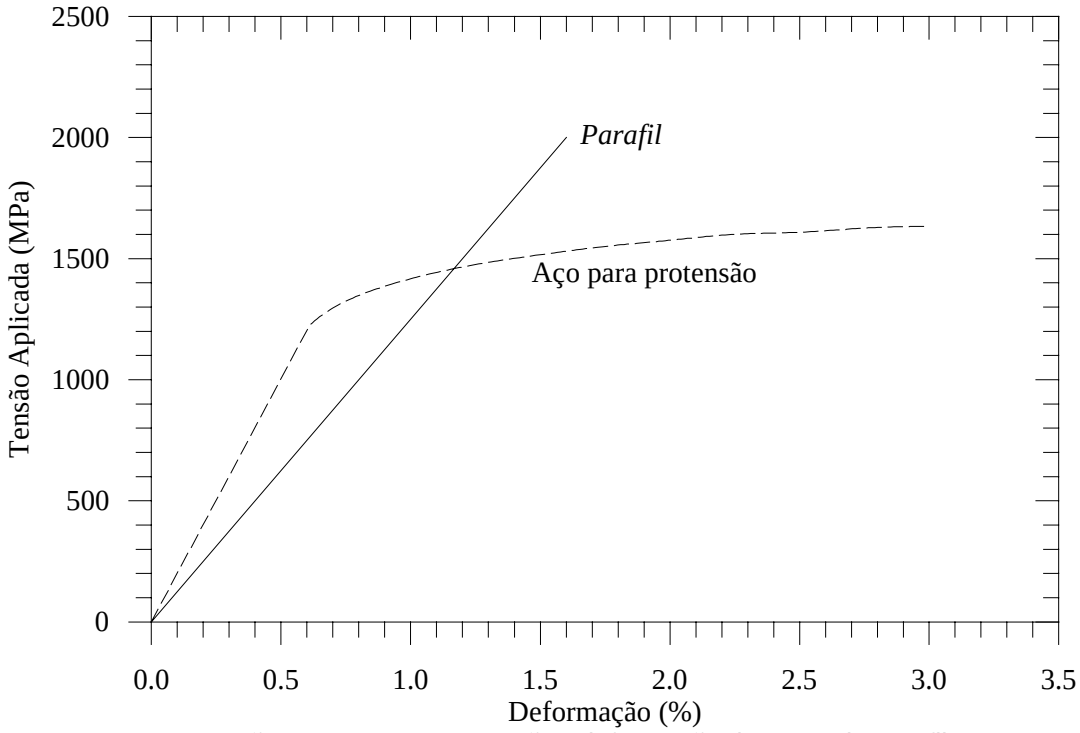

Figura A.1 - Comparação entre as curvas tensão - deformação do aço e do parafil G (Guimarães,1988).

Uma característica associada aos cabos feitos de fibras é que a resistência do cabo (feixe de fibras) é menor do que a resistência das fibras consideradas individualmente. A redução depende do tipo de construção dos cabos (fibras torcidas, fibras em paralelo, etc.) e da variabilidade das fibras. A redução da resistência também é função do diâmetro do cabo como ilustrado na Figura A.2. Observa-se um decréscimo da resistência quando a área da seção transversal passa de um fio para um valor correspondente a 6 tf. Para os cabos com maiores diâmetros, o efeito do diâmetro se torna desprezível.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

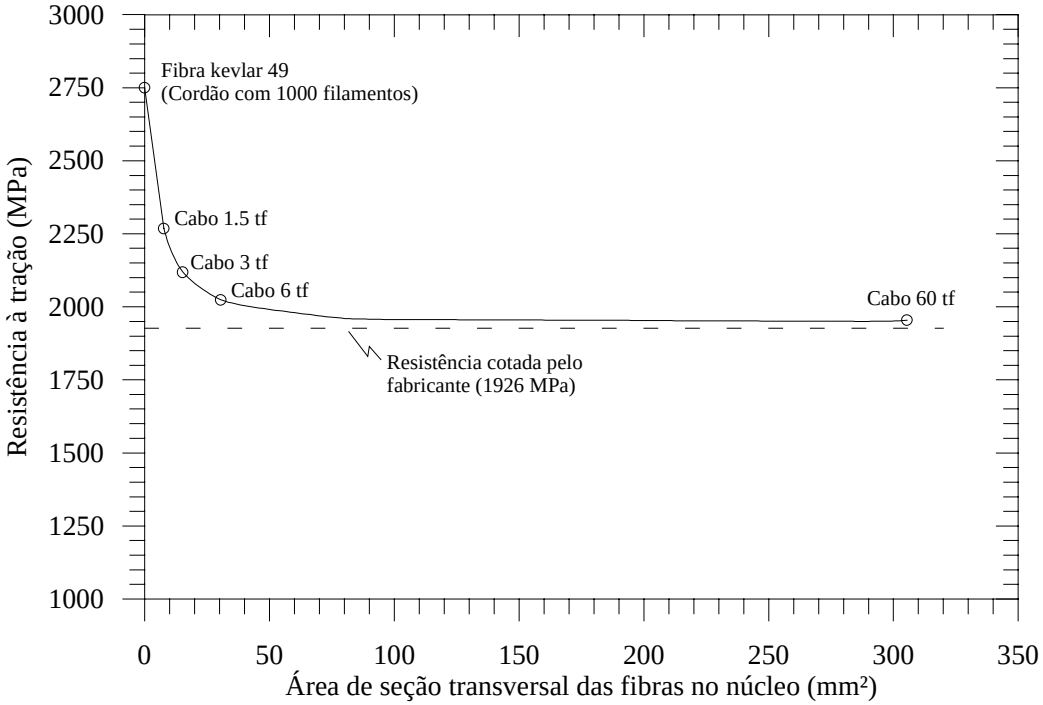

Figura A.2 - Influência do diâmetro sobre a resistência do *Parafil* G (Guimarães,1988).

A.3.
Sistema de Ancoragem

Um problema crucial no uso de cabos feitos com fibras é o sistema de ancoragem que pode levar a ruptura prematura devido à concentração de tensão no terminal. O terminal usado em cabos *parafil* consiste de um cilindro com um furo cônico dentro do qual é introduzido um cone que pressiona as fibras contra as paredes do cilindro. A performance desse terminal tem se mostrado eficiente, onde na maioria dos casos a ruptura ocorre ao longo do comprimento do cabo. A figura A.3 mostra os detalhes do sistema de ancoragem.

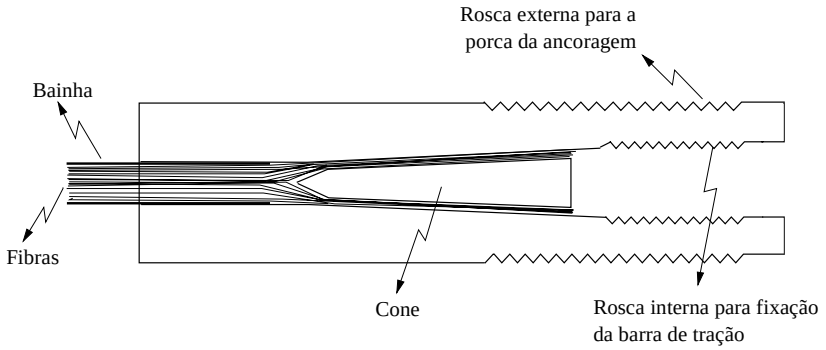

Figura A.3 - detalhes do sistema de ancoragem.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

A.4.
Perdas de Protensão

A perda total observada nos cabo *parafil* é equivalente a sofrida pelos cabos de aço. O baixo módulo de elasticidade do *Parafil* reduz as perdas devidas à deformação elástica, retração e fluência do concreto. Não há perdas por ancoragem no *Parafil.* A tabela A.2 mostra uma comparação entre perdas de protensão no *Parafil* tipo G e no aço.

Tabela A.2 - Perdas de protensão no *Parafil G* e no aço (Branco, 1993)

Perdas de Protensão	Cabo *Parafil* (%)	Aço (%)	
		Relaxação normal	Relaxação baixa
Relaxação	13,4	3,4	1
Deformação elástica	4,1	7	7
Encurtamento	2,4	4	4
Fluência	4,1	7	7
Ancoragem	0	2	2
Total	24	23,4	21

A.5.
Efeitos da Temperatura

A fibra kevlar carboniza-se a uma temperatura em torno de 460^{o} C. A resistência e o módulo de elasticidade diminuem com o aumento da temperatura. A 200^{o}C a resistência de kevlar é aproximadamente 70% do seu valor original enquanto que o concreto, aço de protensão e o aço estrutural mantêm 90% da resistência observadas a temperatura ambiente (23^{o}C). O módulo de elasticidade de kevlar 49 é reduzido linearmente com o incremento da temperatura. A 250^{o}C, o módulo de kevlar representa 65% do seu valor a 25^{o}C, que é em torno de 127000 MPa.

Alguns polímeros cristalinos, como kevlar, apresentam uma expansão térmica anisotrópica, com o coeficiente de dilatação térmica negativa na direção longitudinal da fibra. Os resultados de uma série de ensaios conduzidos com fibras kevlar 49 sujeitas a diferentes níveis de tensão (Guimarães, 1988)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

revelam que o coeficiente de dilatação térmica do material depende da tensão aplicada. O coeficiente de expansão térmica de kevlar 49, α, pode ser estimado pela equação abaixo, onde σ é expressa em MPa e α em $10^{-6}/^{o}C$ (Guimarães, 1988).

$$\alpha = -0.0032 \cdot \sigma - 3.7 \qquad \text{(A.1)}$$

A equação (A.1) também pode ser usada para cabos *parafil*, deste que as fibras de kevlar sejam arranjadas em paralelo no núcleo do cabo.

A.6. Fluência

Em muitas situações a fluência pode ser determinante na escolha do material para uso como elemento estrutural. Deformações excessivas de fluência em um elemento estrutural podem resultar em um deslocamento excessivo acima do estado limite de utilização ou provocar forças adicionais em outros elementos da estrutura.

O comportamento da fluência nos cabos *parafil* tipo G foi estudo ao longo de períodos de até 580 dias (Guimarães, G. B. e Burgoyne, C. J., 1992), sob temperatura ambiente. Os resultados mostraram que: a) a fluência nos cabos *parafil* pode ser descrita por uma função logarítmica; b) O coeficiente de fluência ($\phi(t)$) definido como a relação entre a deformação devido à fluência ($\varepsilon_c(t)$) e a deformação inicial (ε_o) pode ser considerado independente da tensão, e estimada, com 90% de certeza, pela expressão:

$$\phi(t) = (0.012 \pm 0.003) \log_{10} (t) \qquad \text{(A.2)}$$

onde t é expressado em segundos. Considerando que $\varepsilon_o = \sigma/E$, onde σ é a tensão aplicada e E é o módulo de elasticidade, a deformação total no tempo t pode ser dada por:

$$\varepsilon(t) = [1 + \phi(t)]\sigma/E \qquad \text{(A.3)}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

A.7.
Fadiga Estática e Dinâmica

Crauford e McTernan (1988) testaram cabos A, F e G, com cargas nominais de até 60 t. Os resultados mostraram que apesar do desgaste nos terminais a performance do *parafil* é maior que o observado nos cabos de aço.

A fadiga estática é o fenômeno de fratura que ocorre após certo tempo quando o material se encontra sujeito a uma tensão constante inferior à resistência obtida em ensaios de curta duração. Este fenômeno tem sido representado para muitos materiais por uma curva relacionando tensão aplicada e o logaritmo da vida útil do material. O conhecimento desta curva é importante para a determinação da tensão de trabalho do material em função da vida útil desejada para a estrutura.

A equação que estima a vida útil (t_b) correspondente a uma probabilidade de ruptura (P) é dada pela seguinte equação (Guimarães, G. B. e Burgoyne, C. J., 1996):

$$\ln(t_b) = 0.006 \cdot e^{-.066f} \cdot \ln[-\ln(1-P)] - 0.35 \cdot f + 40.3 \qquad (A.4)$$

onde t_b é dado em segundo, f é o nível de tensão estática expressada como uma percentagem da resistência de tração última.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

Apêndice B
Gráficos complementares dos ensaios preliminares

Neste apêndice são mostrados os gráficos referentes a deformação no concreto e no aço, e deslocamentos nos terços do vão para as vigas com (VGAI2) e sem (VGAI1) armadura passante na junta. A localização dos extensômetros na armadura passiva e no concreto são mostrados na figura 3.6 do capítulo 3.

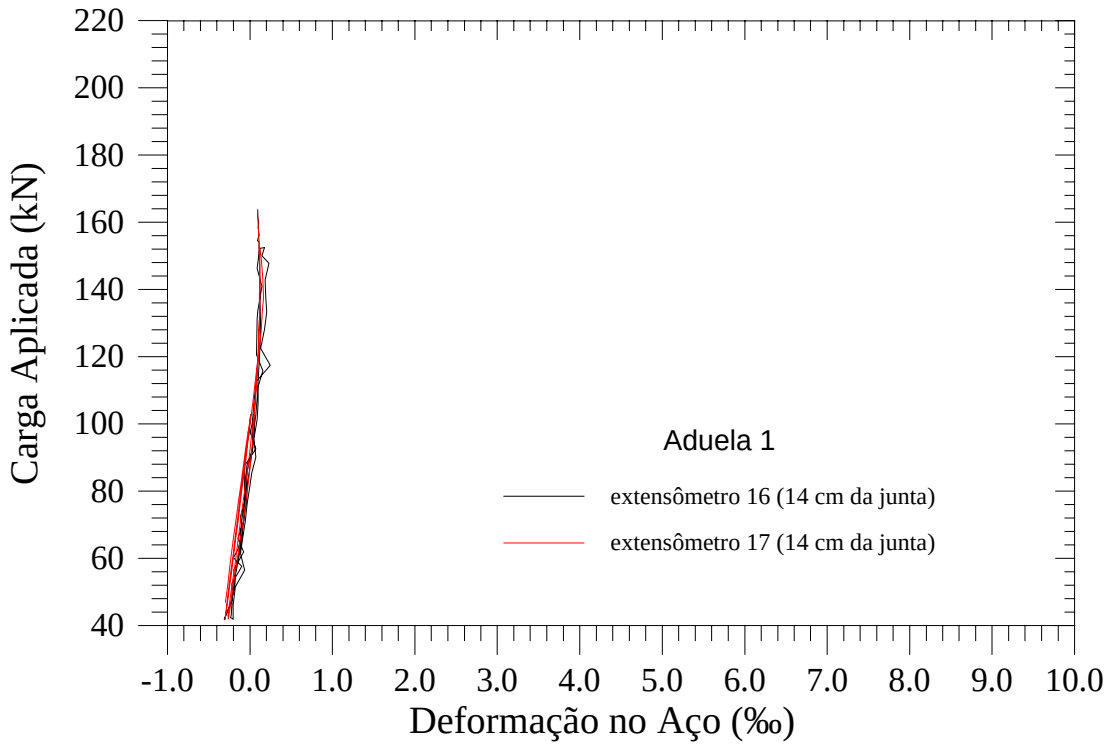

Figura B.1 – Curva carga vs. deformação no aço a 14 cm (aduela 1) da junta para a viga VGAI1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

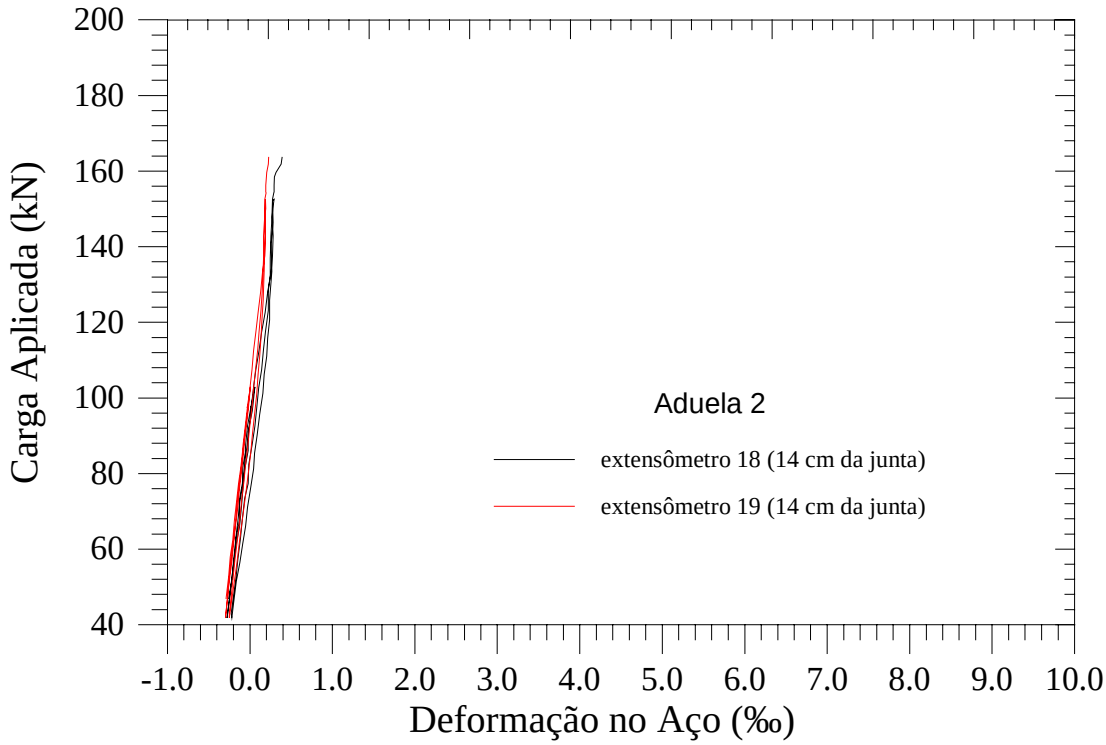

Figura B.2 – Curva carga vs. deformação no aço a 14 cm (aduela 2) da junta para a viga VGAI1.

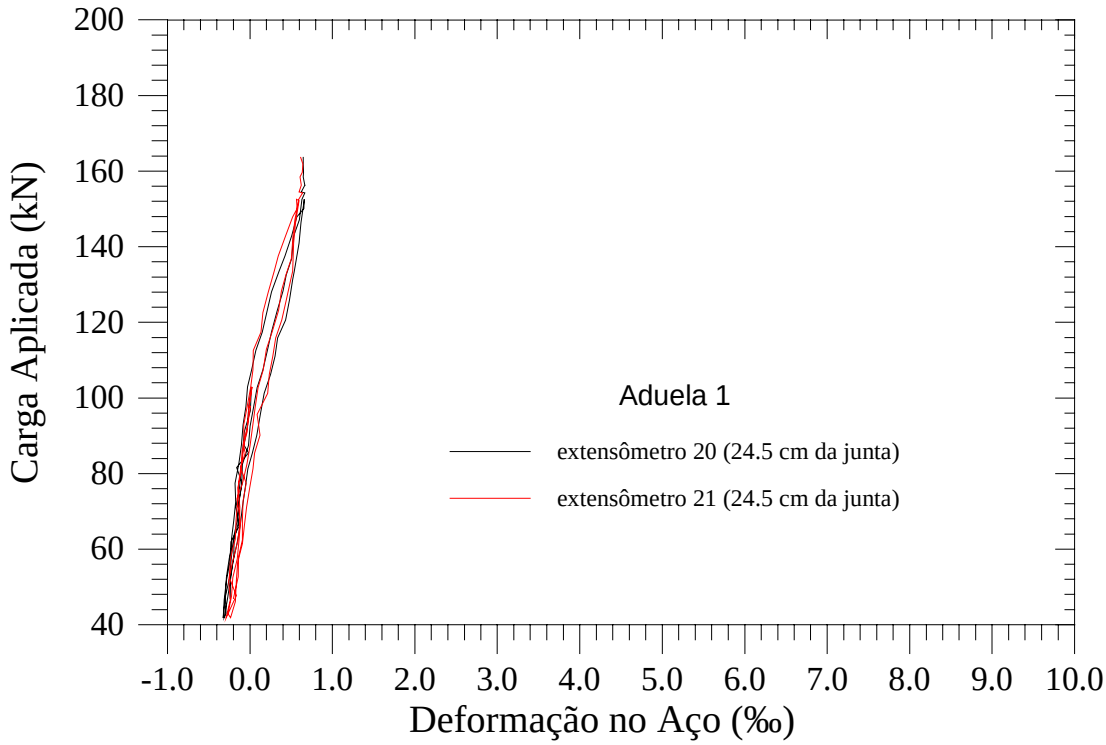

Figura B.3 – Curva carga vs. deformação no aço a 24.5 cm (aduela 1) da junta para a viga VGAI1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

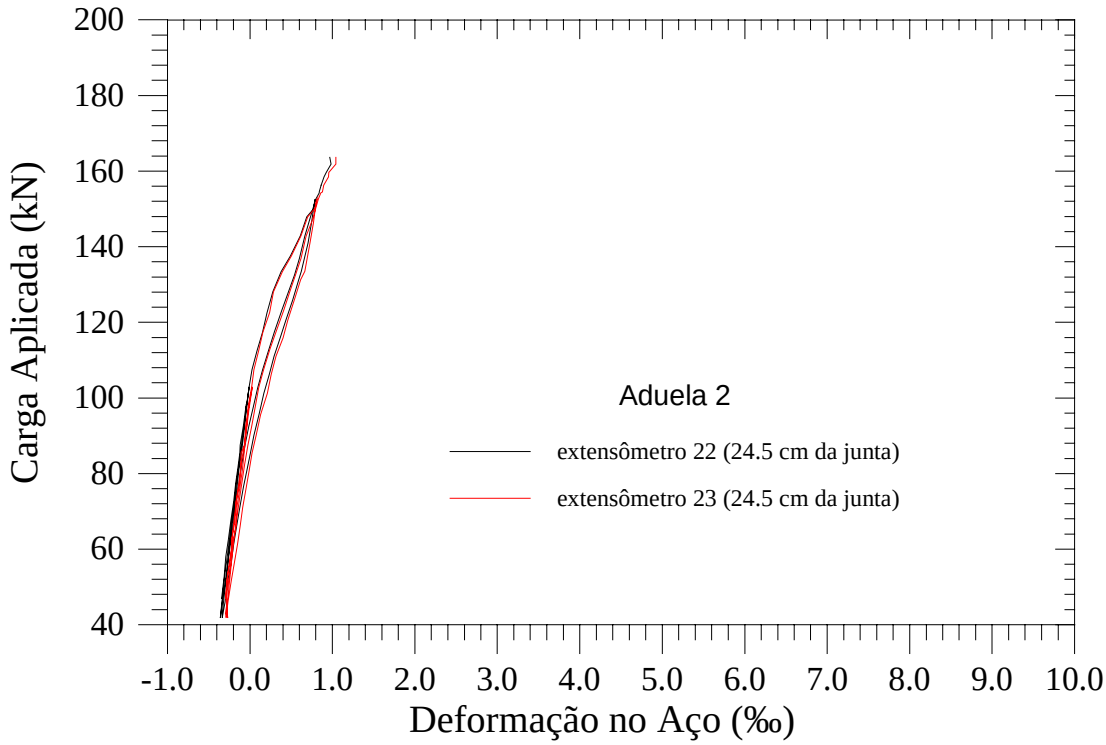

Figura B.4 – Curva carga vs. deformação no aço a 24.5 cm (aduela 2) da junta para a viga VGAI1.

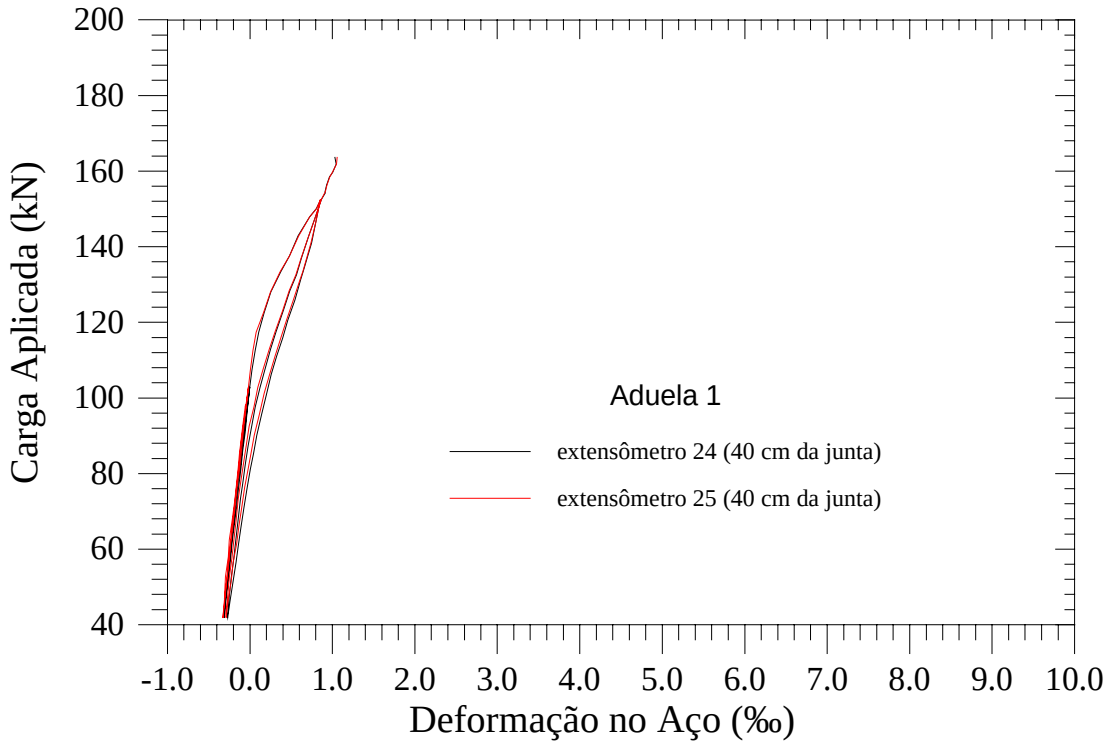

Figura B.5 – Curva carga vs. deformação no aço a 40 cm (aduela 1) da junta para a viga VGAI1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

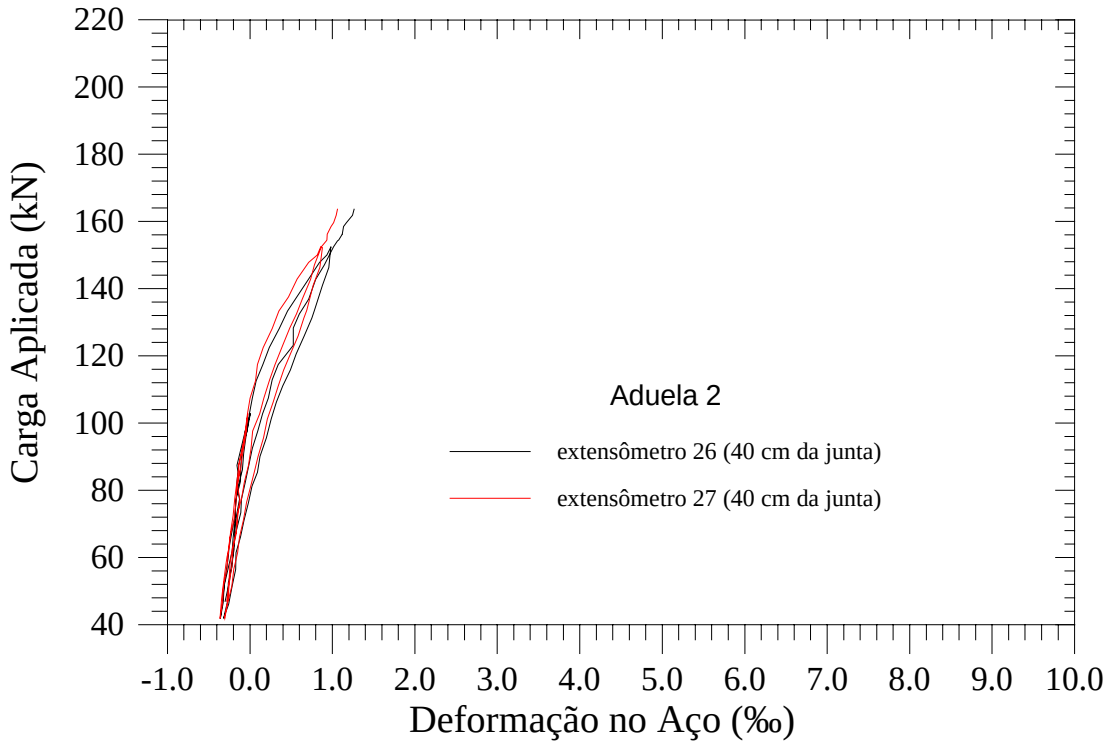

Figura B.6 – Curva carga vs. deformação no aço a 40 cm (aduela 2) da junta para a viga VGAI1.

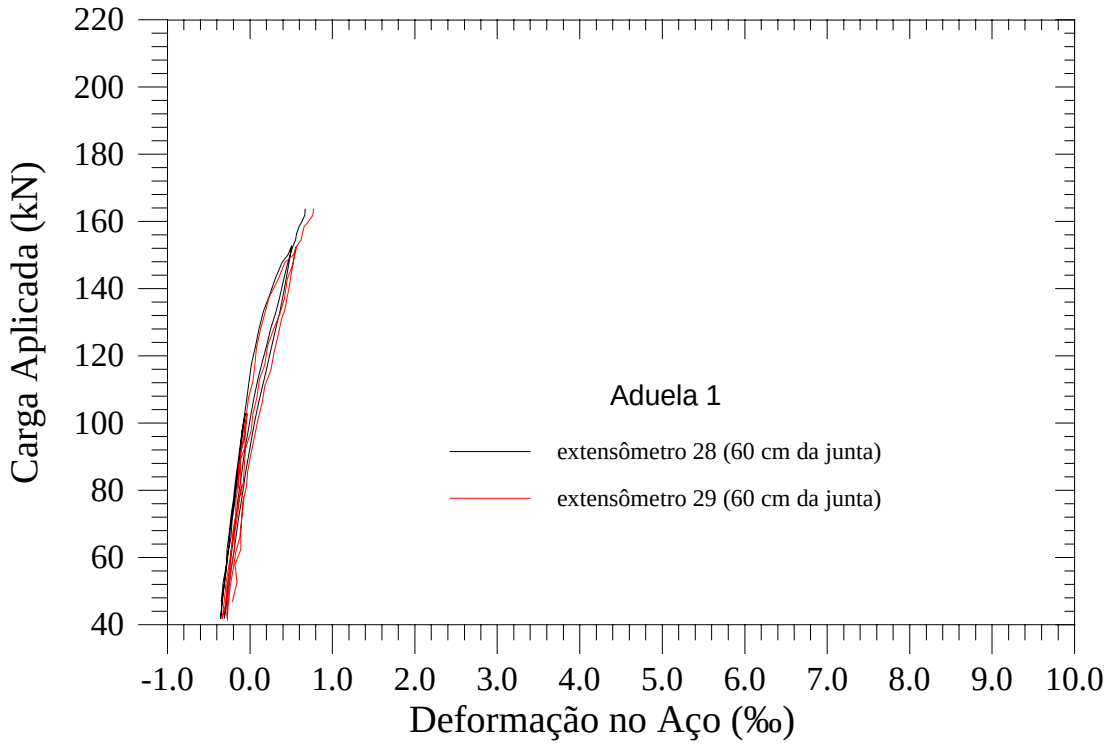

Figura B.7 – Curva carga vs. deformação no aço a 60 cm (aduela 1) da junta para a viga VGAI1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

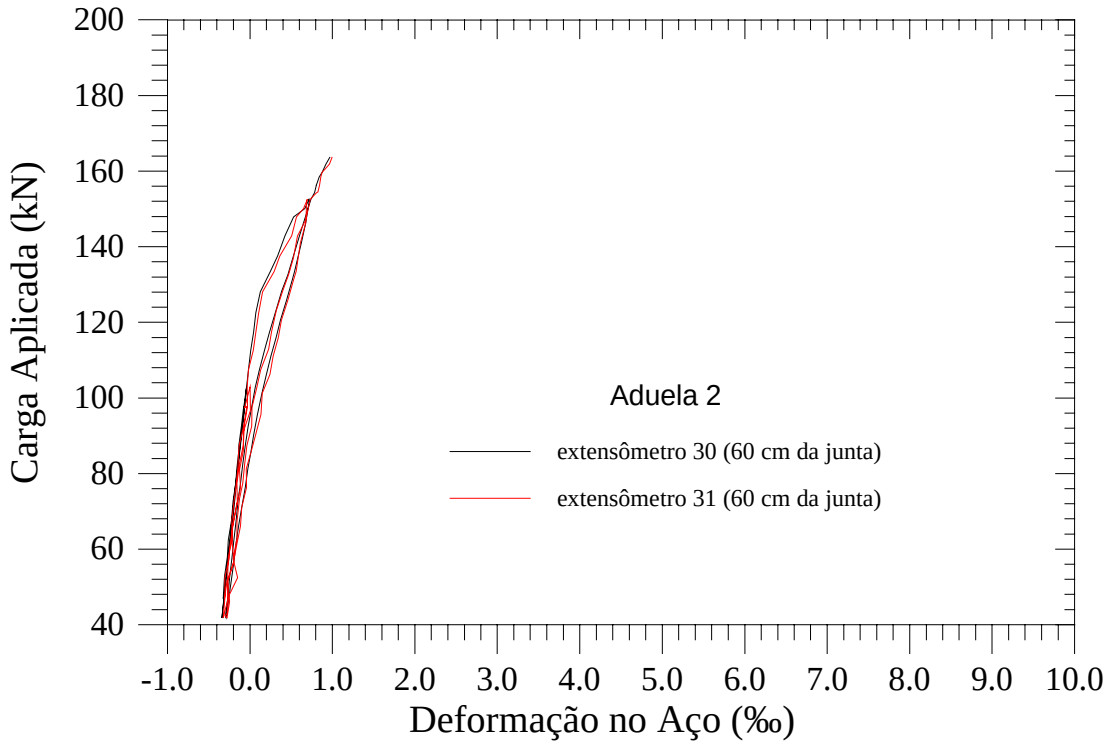

Figura B.8 – Curva carga vs. deformação no aço a 60 cm (aduela 2) da junta para a viga VGAI1.

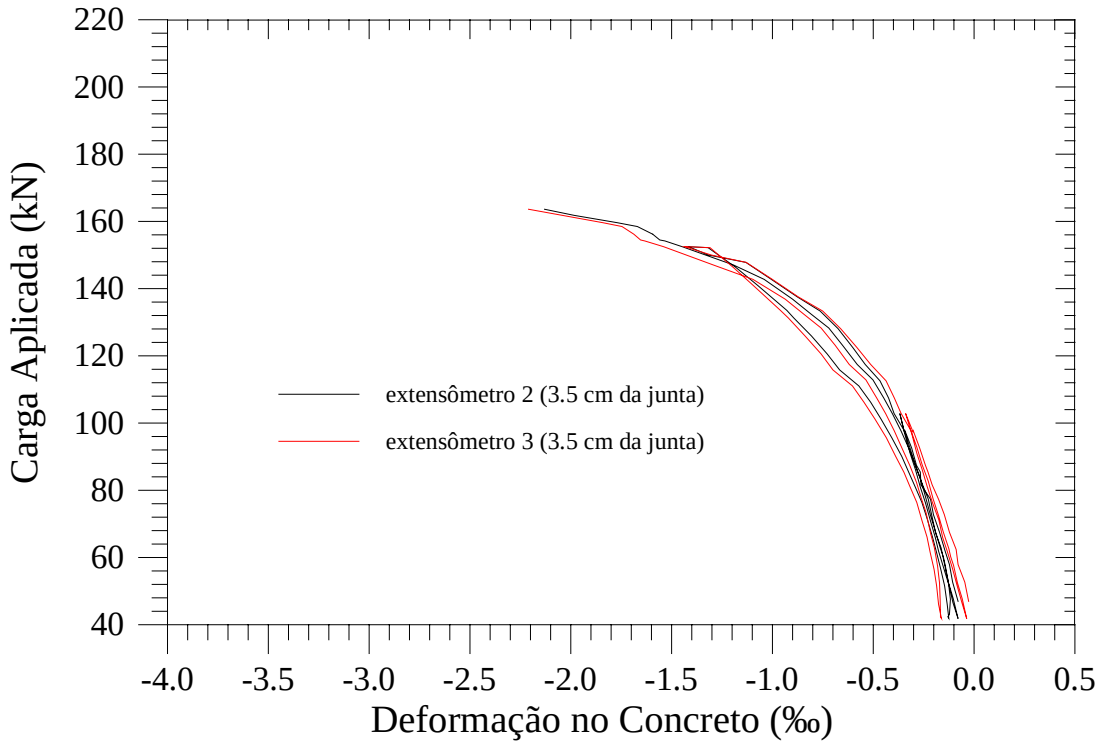

Figura B.9 – Curva carga vs. deformação no concreto a 3.5 cm da junta para a viga VGAI1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

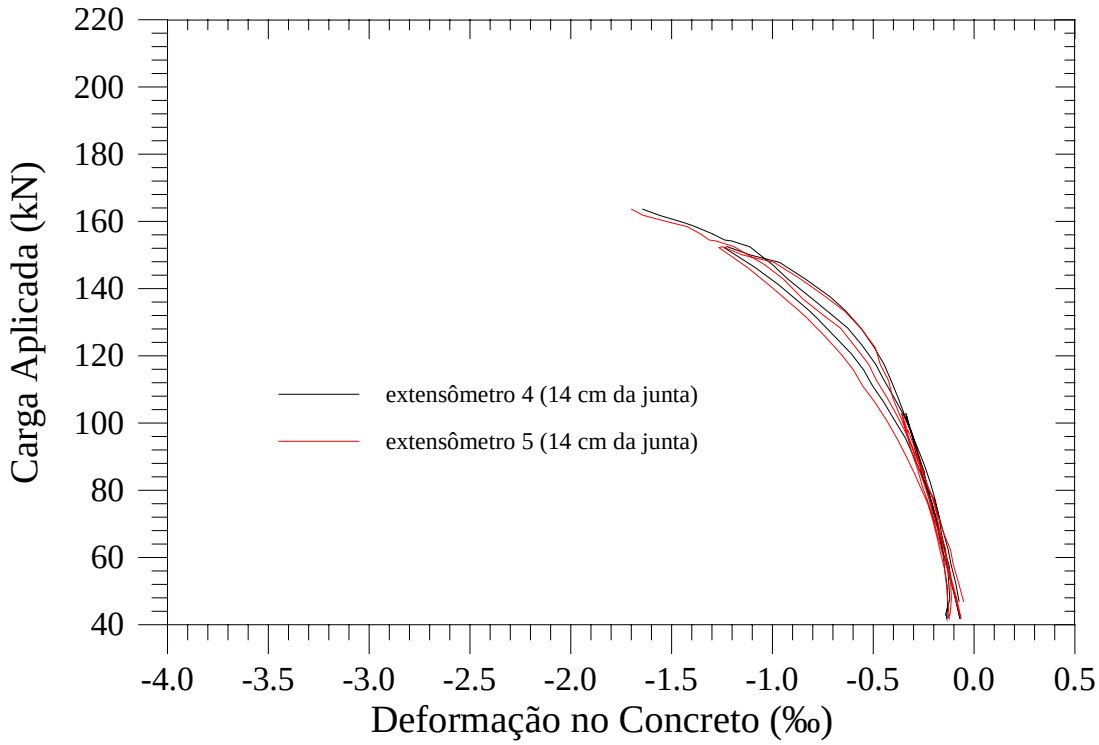

Figura B.10 – Curva carga vs. deformação no concreto a 14 cm da junta para a viga VGAI1.

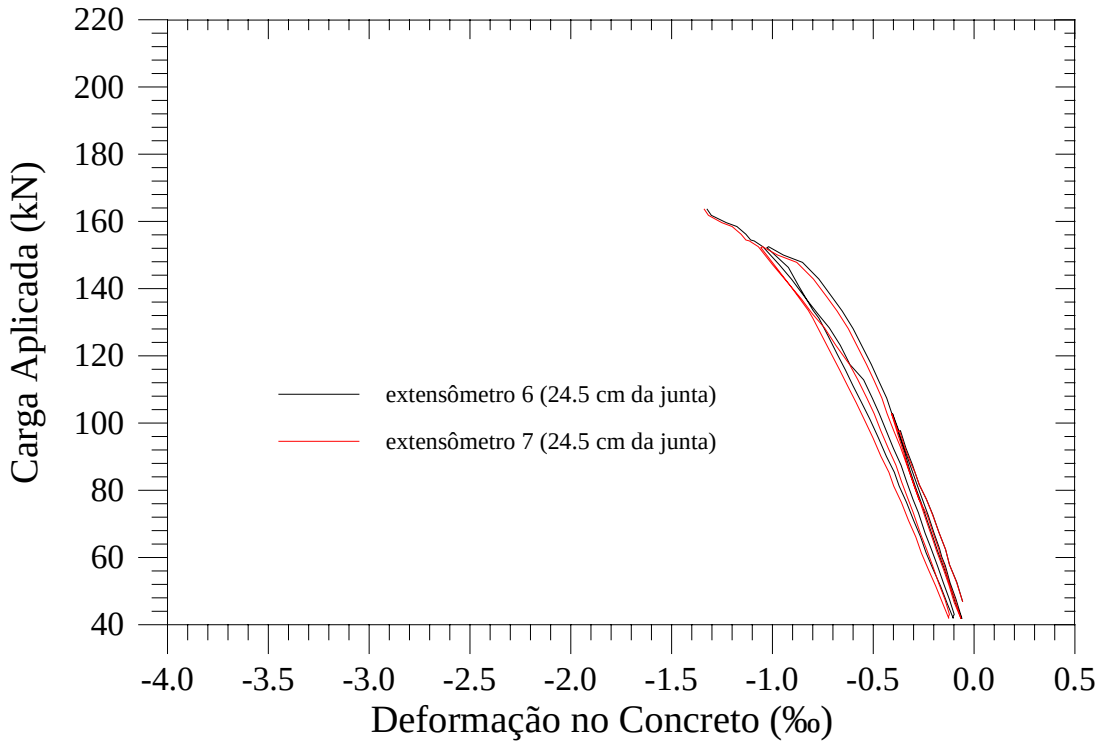

Figura B.11 – Curva carga vs. deformação no concreto a 24.5 cm da junta para a viga VGAI1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

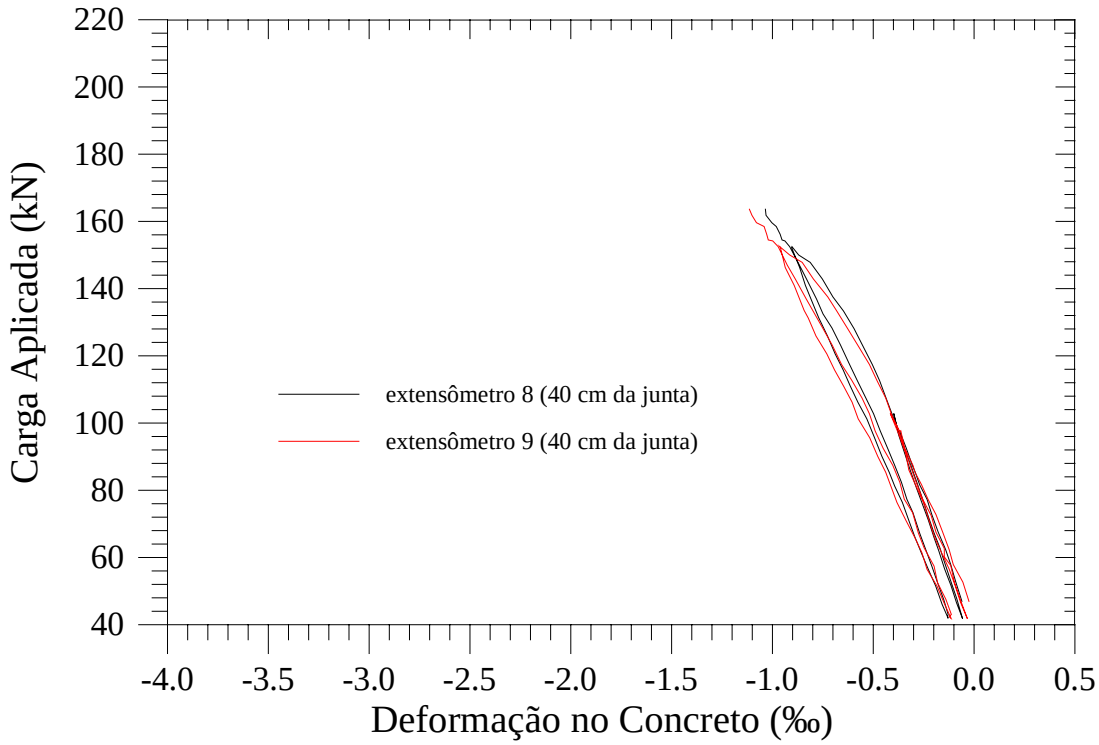

Figura B.12 – Curva carga vs. deformação no concreto a 40 cm da junta para a viga VGAI1.

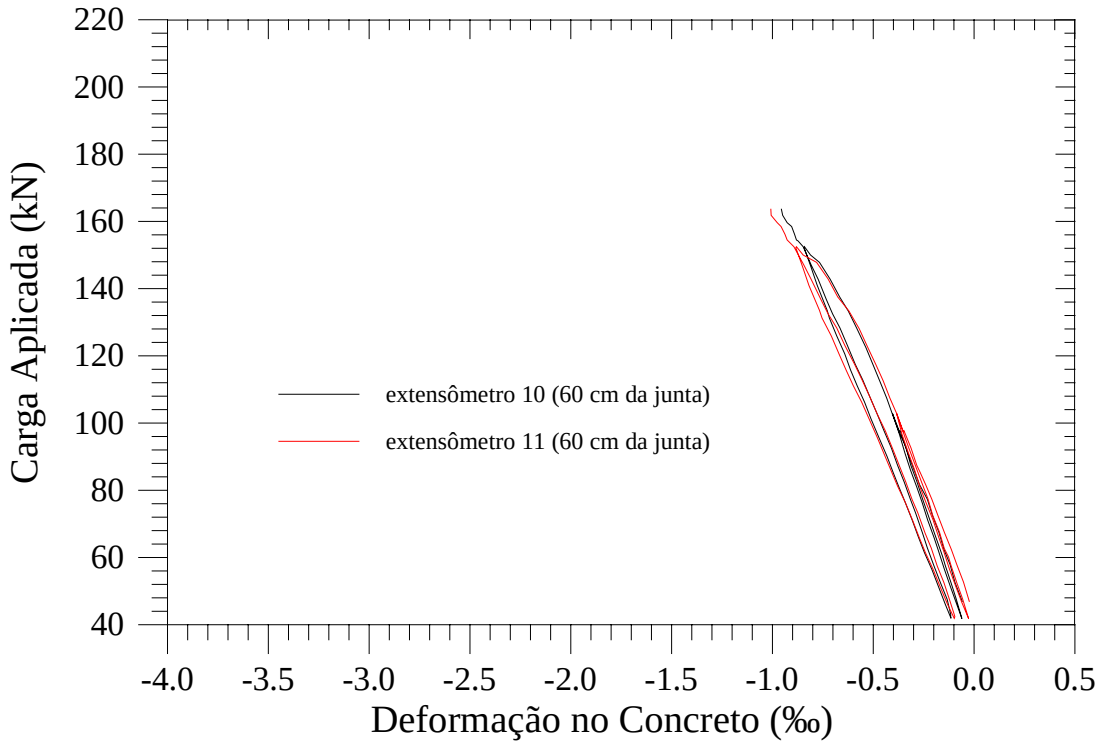

Figura B.13 – Curva carga vs. deformação no concreto a 60 cm da junta para a viga VGAI1.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

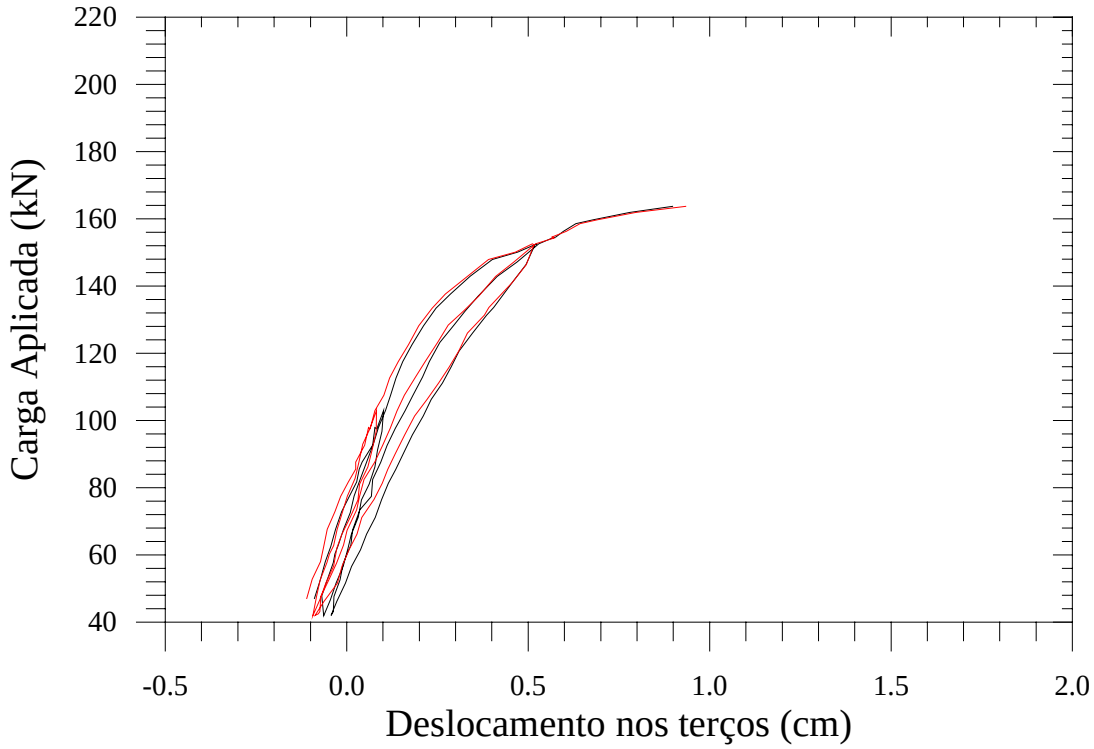

Figura B.14 – Curva carga vs. deslocamento nos terços para a viga VGAI1.

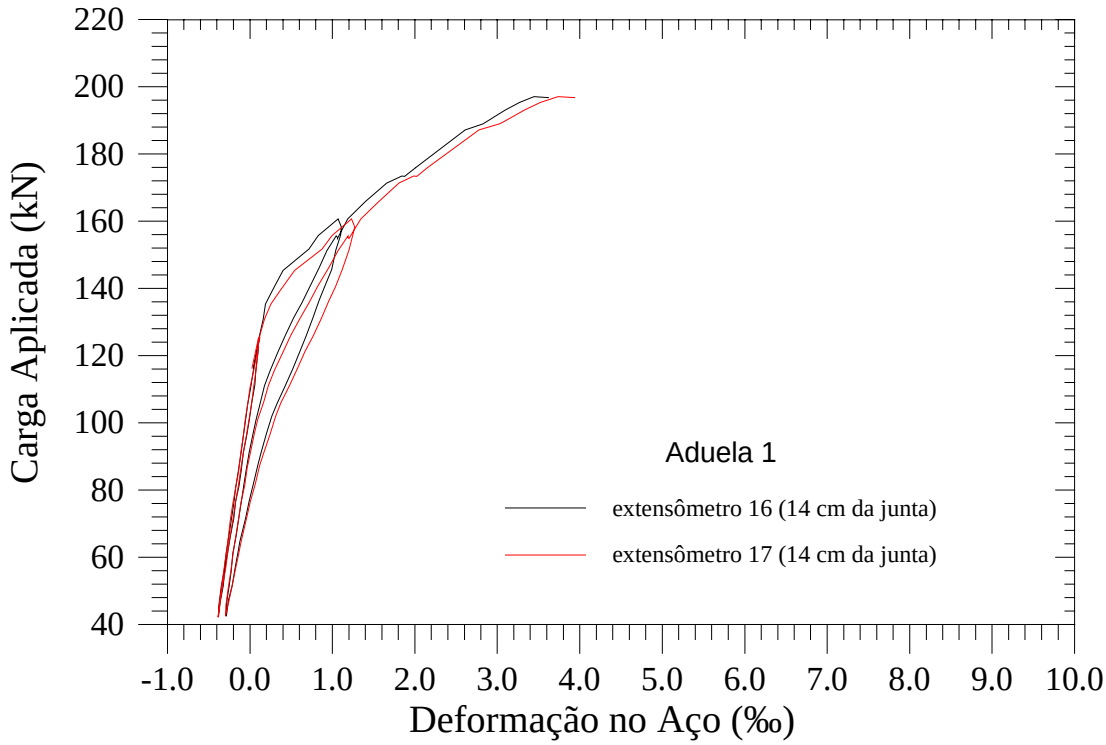

Figura B.15 – Curva carga vs. deformação no aço a 14 cm (aduela 1) da junta para a viga VGAI2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

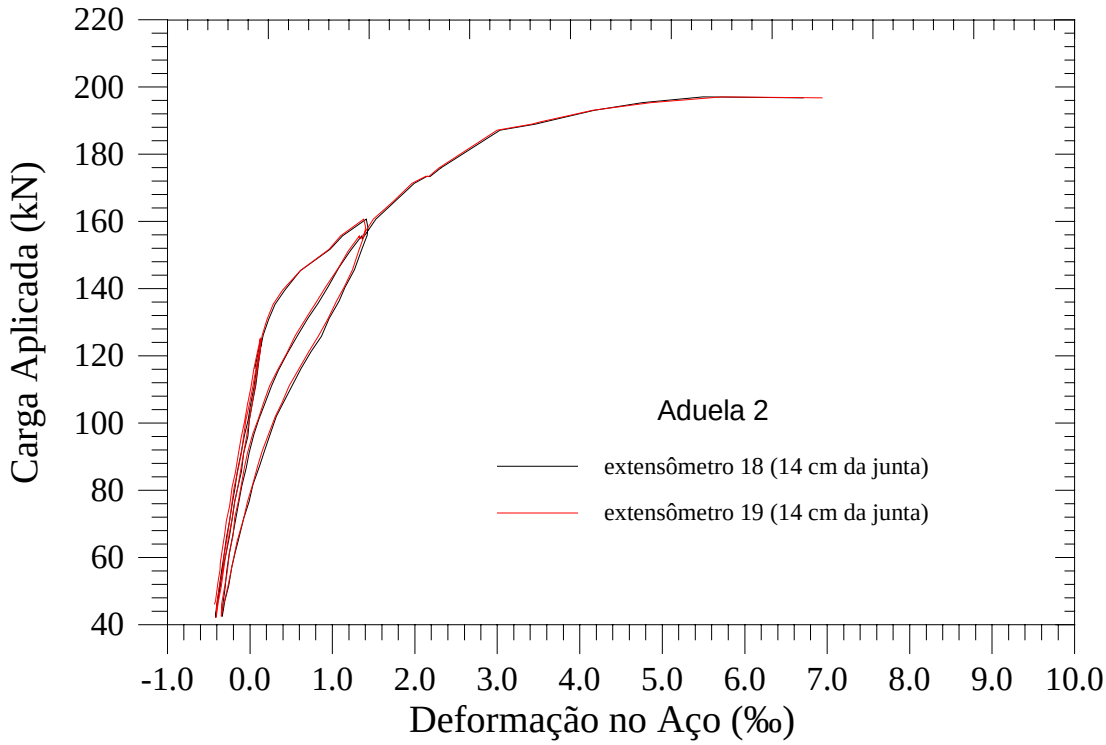

Figura B.16 – Curva carga vs. deformação no aço a 14 cm (aduela 2) da junta para a viga VGAI2.

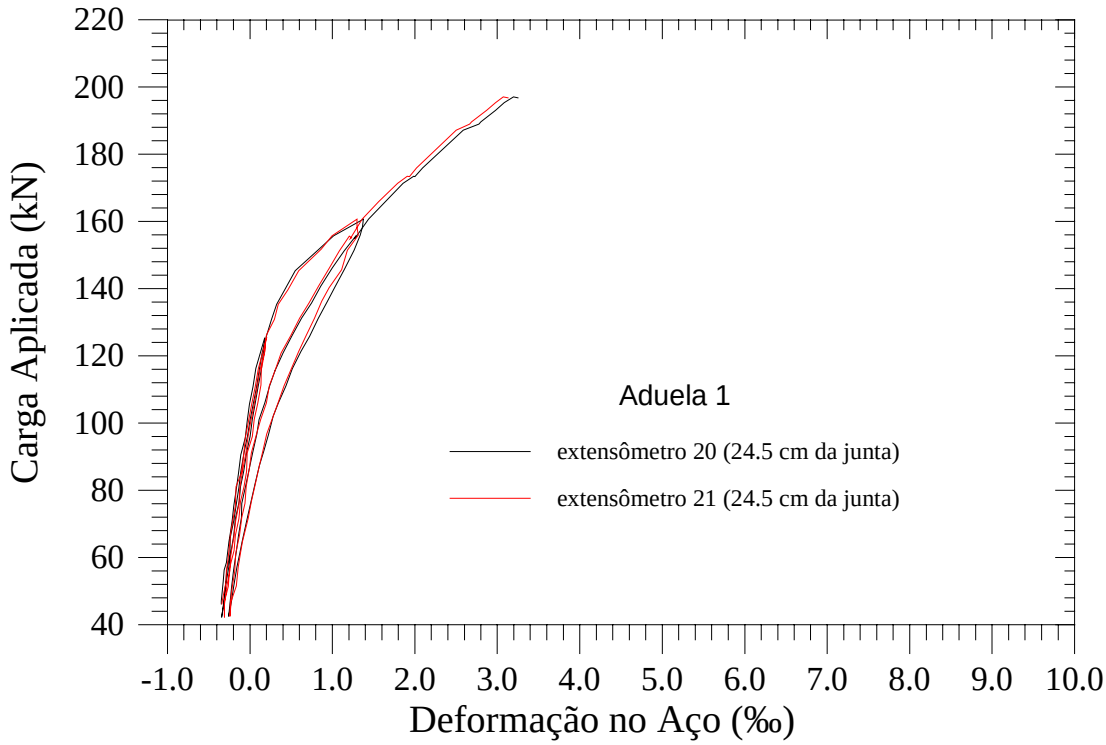

Figura B.17 – Curva carga vs. deformação no aço a 24.5 cm (aduela 1) da junta para a viga VGAI2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

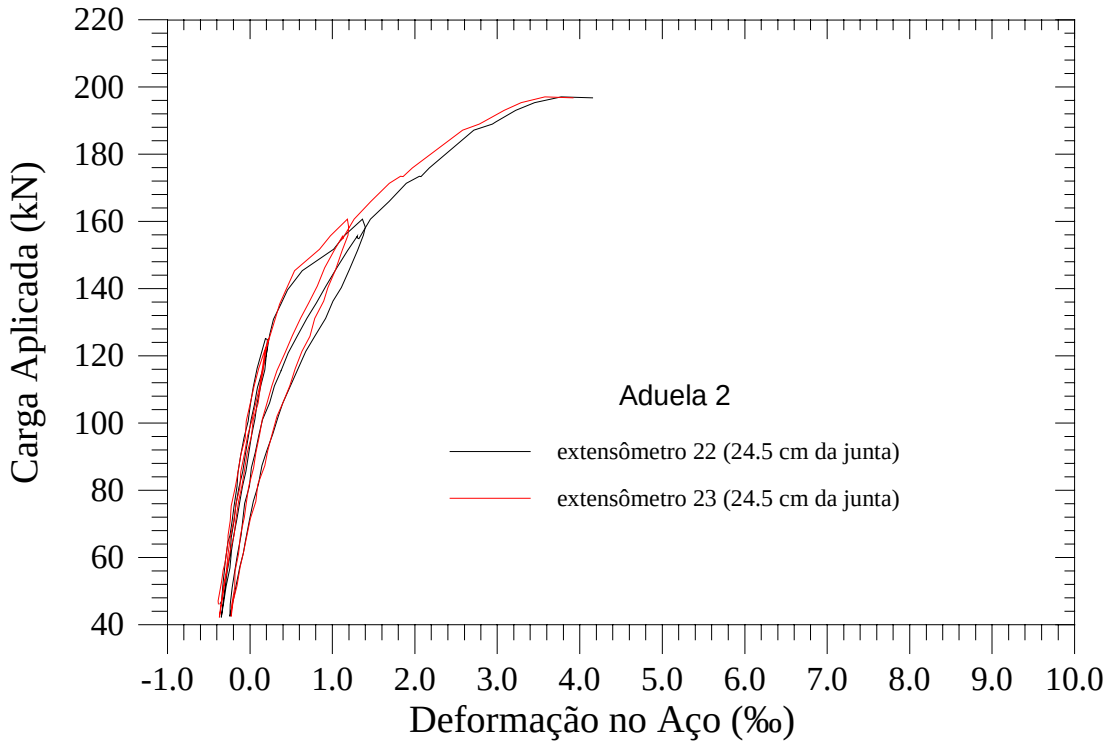

Figura B.18 – Curva carga vs. deformação no aço a 24.5 cm (aduela 2) da junta para a viga VGAI2.

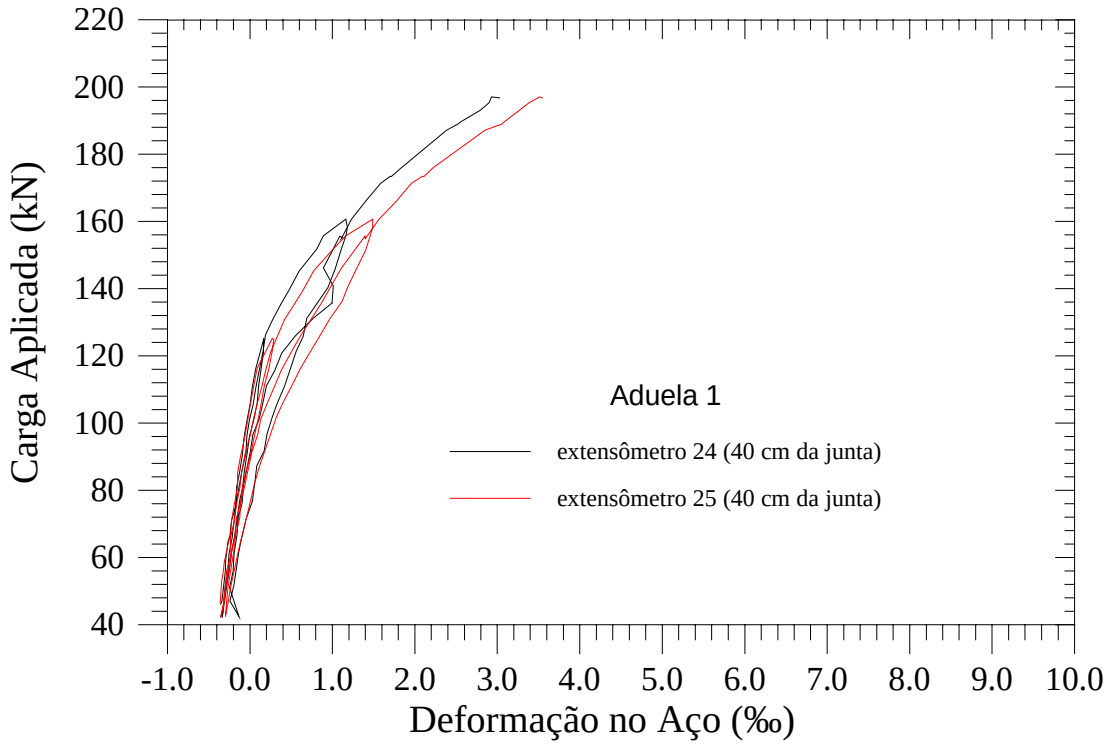

Figura B.19 – Curva carga vs. deformação no aço a 40 cm (aduela 1) da junta para a viga VGAI2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

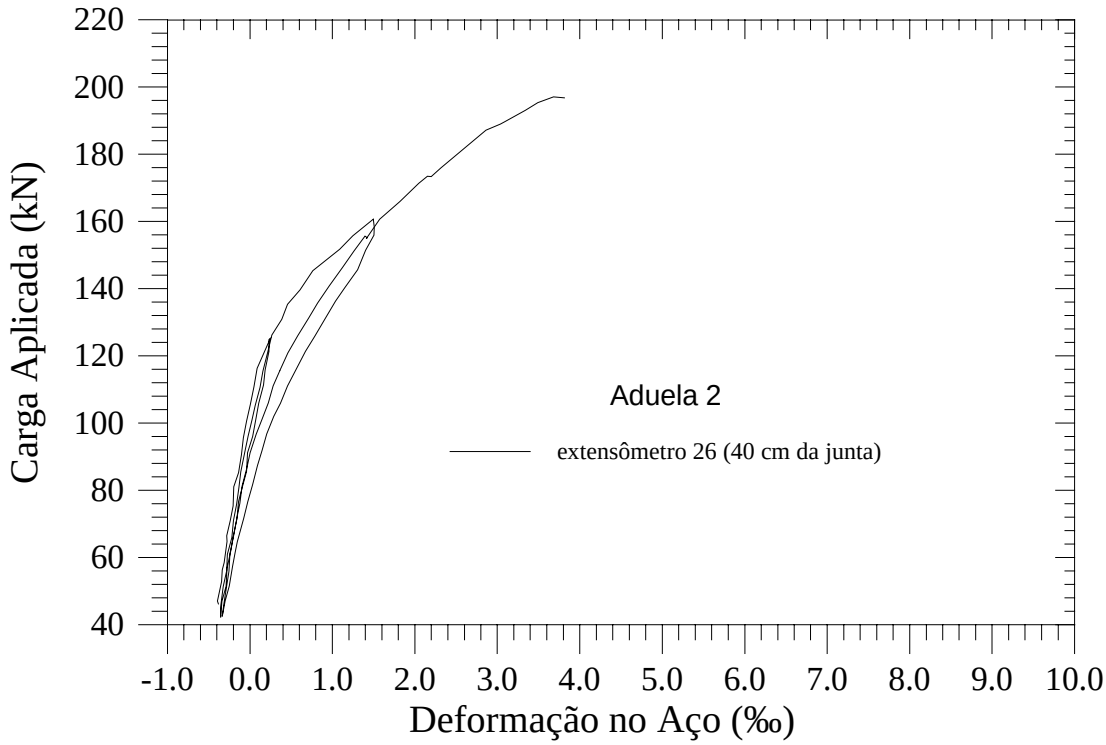

Figura B.20 – Curva carga vs. deformação no aço a 40 cm (aduela 2) da junta para a viga VGAI2.

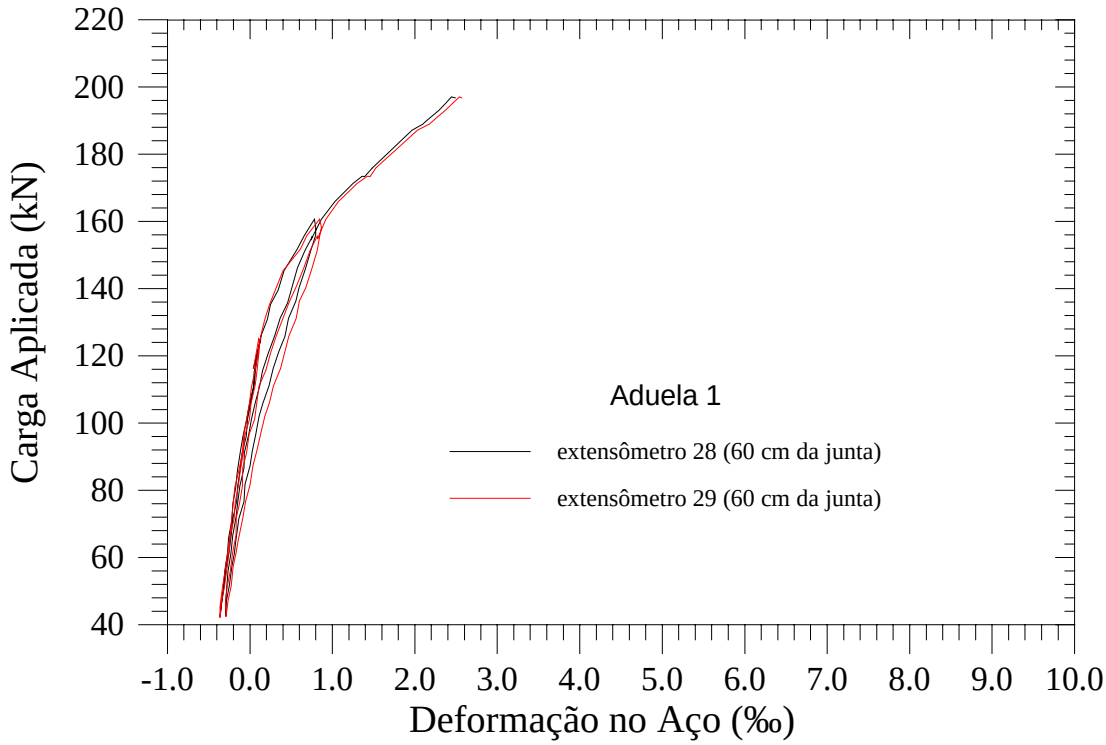

Figura B.21 – Curva carga vs. deformação no aço a 60 cm (aduela 1) da junta para a viga VGAI2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

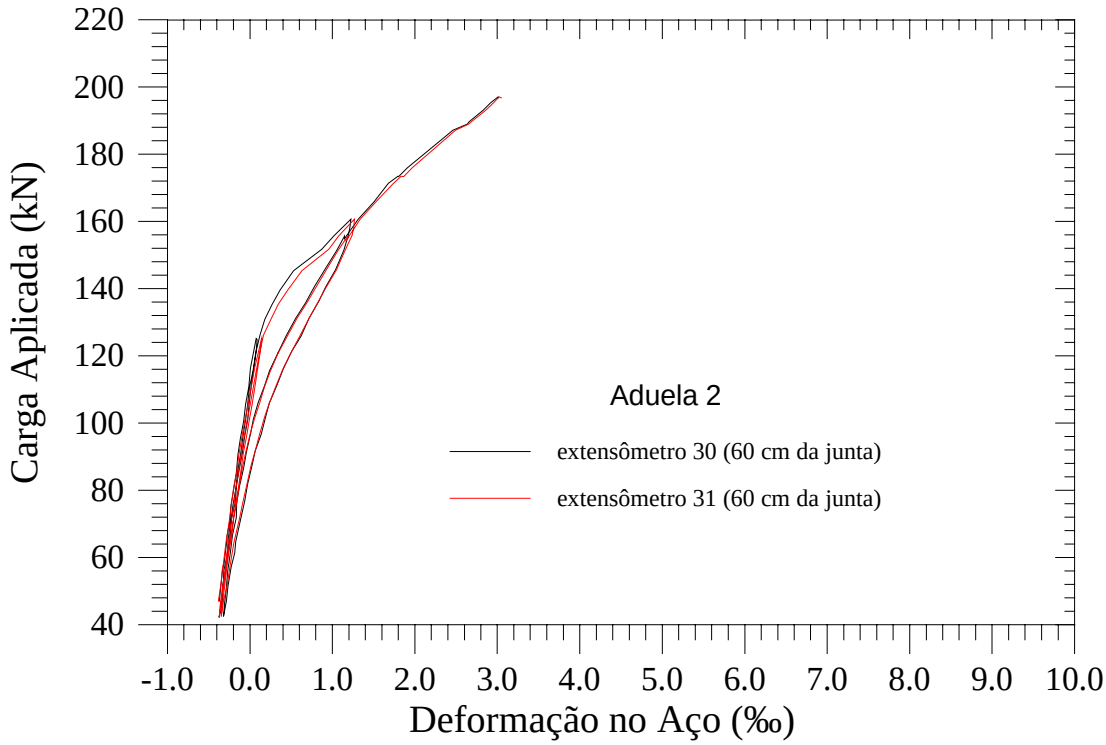

Figura B.22 – Curva carga vs. deformação no aço a 60 cm (aduela 2) da junta para a viga VGAI2.

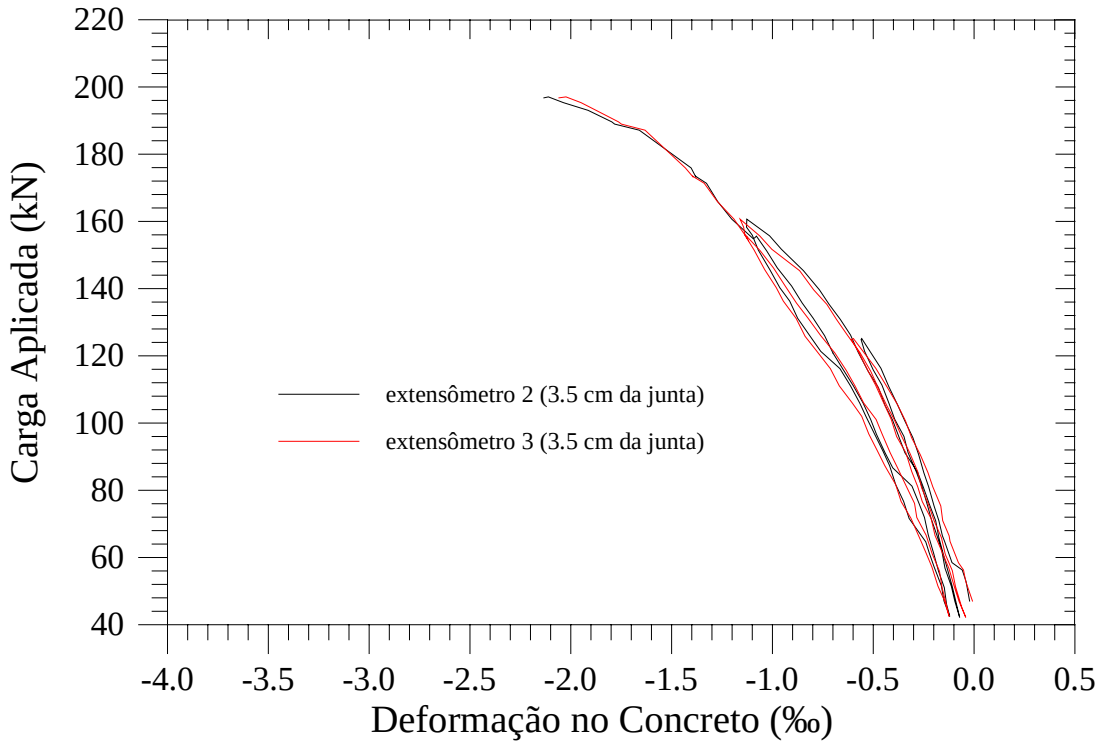

Figura B.23 – Curva carga vs. deformação no concreto a 3.5 cm da junta para a viga VGAI2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

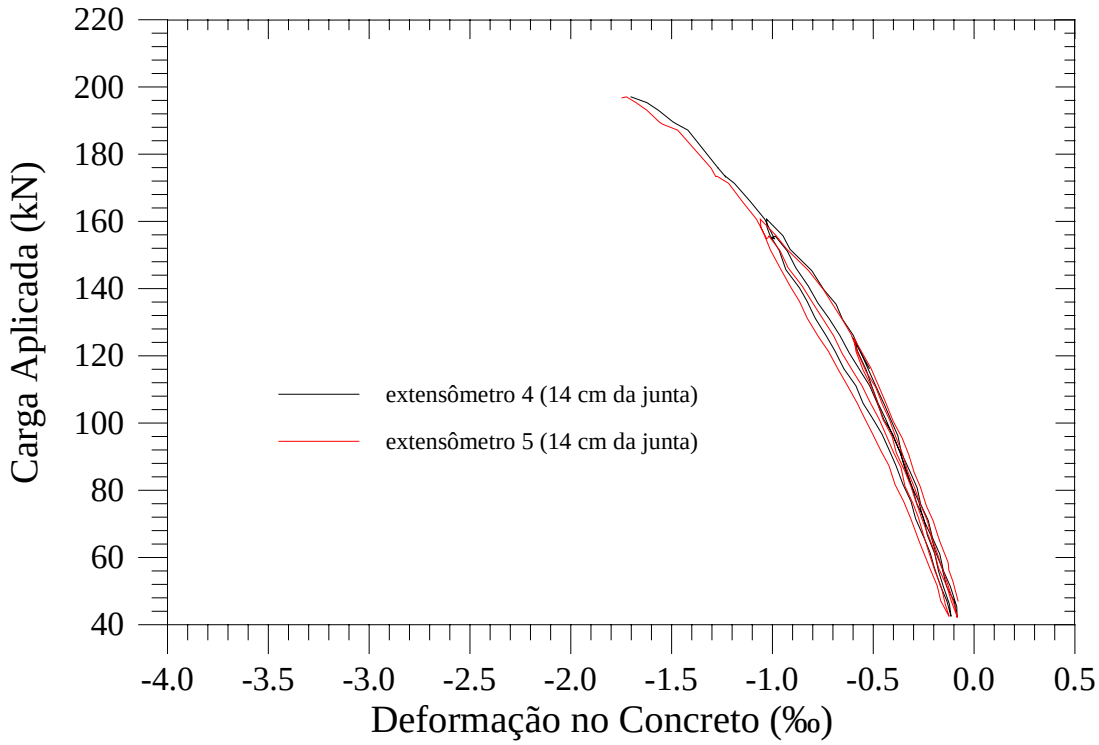

Figura B.24 – Curva carga vs. deformação no concreto a 14 cm da junta para a viga VGAI2.

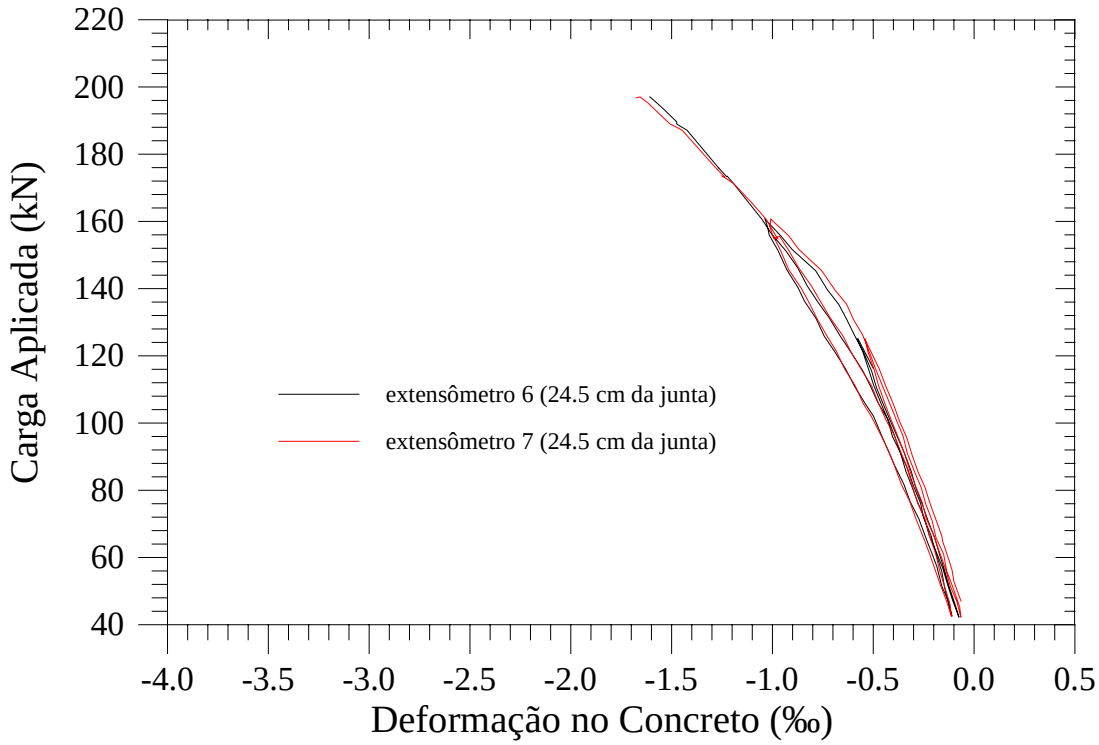

Figura B.25 – Curva carga vs. deformação no concreto a 24.5 cm da junta para a viga VGAI2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

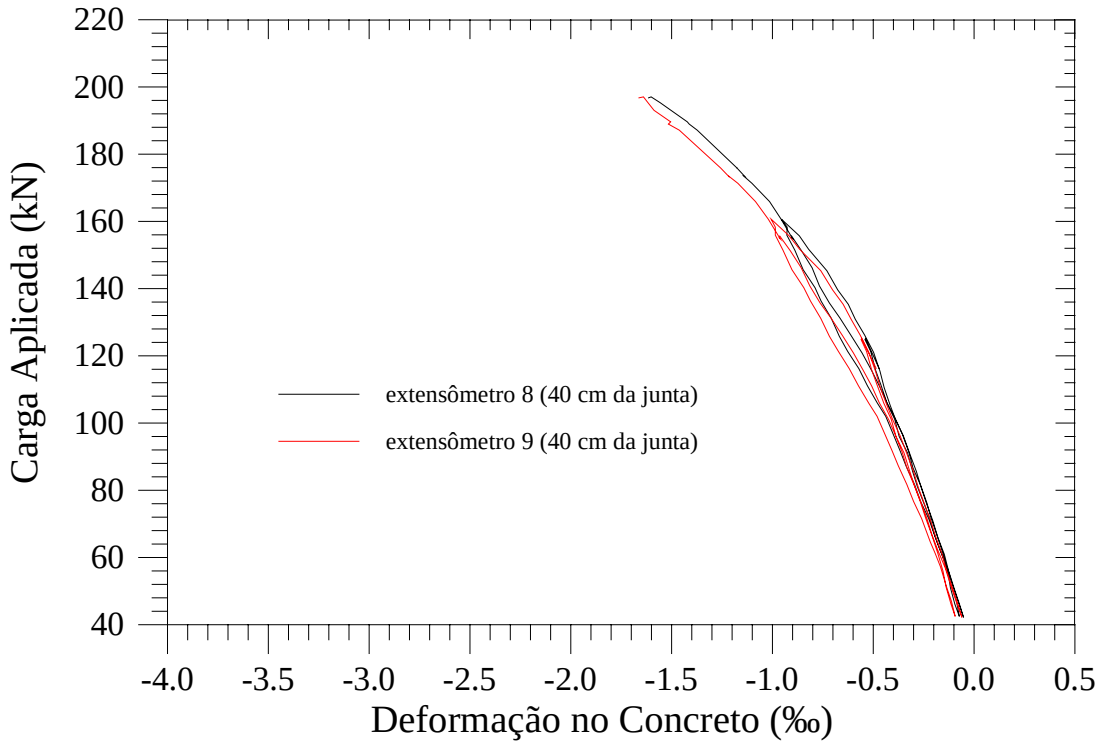

Figura B.26 – Curva carga vs. deformação no concreto a 40 cm da junta para a viga VGAI2.

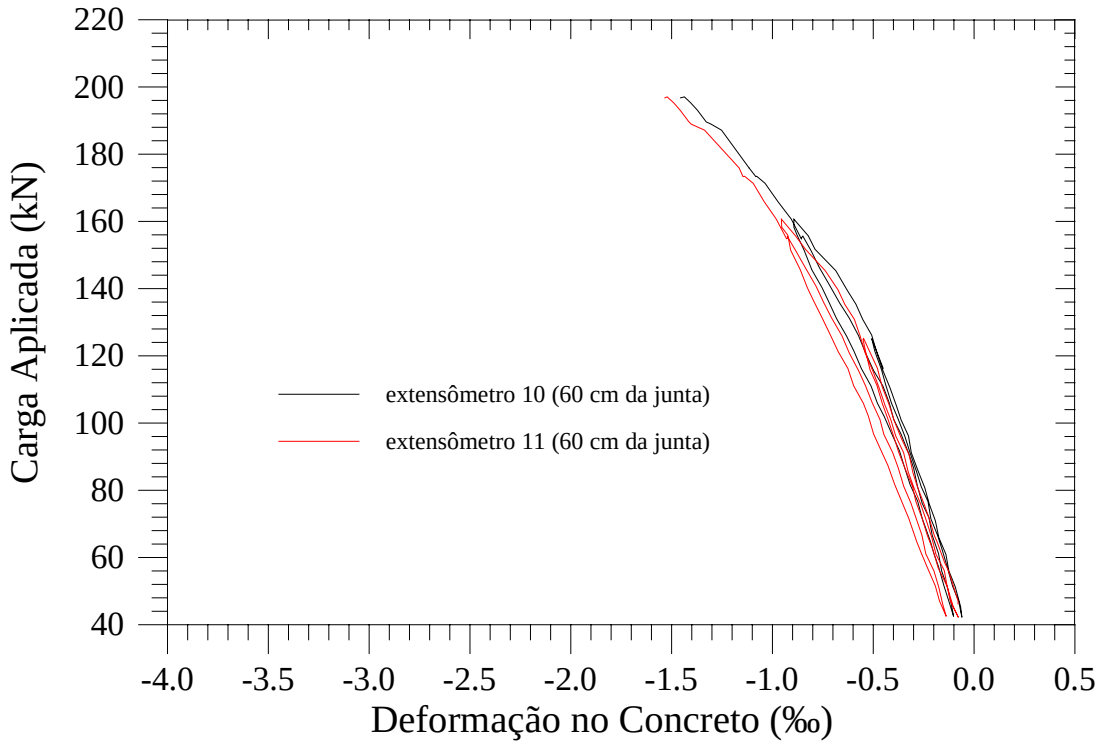

Figura B.27 – Curva carga vs. deformação no concreto a 60 cm da junta para a viga VGAI2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

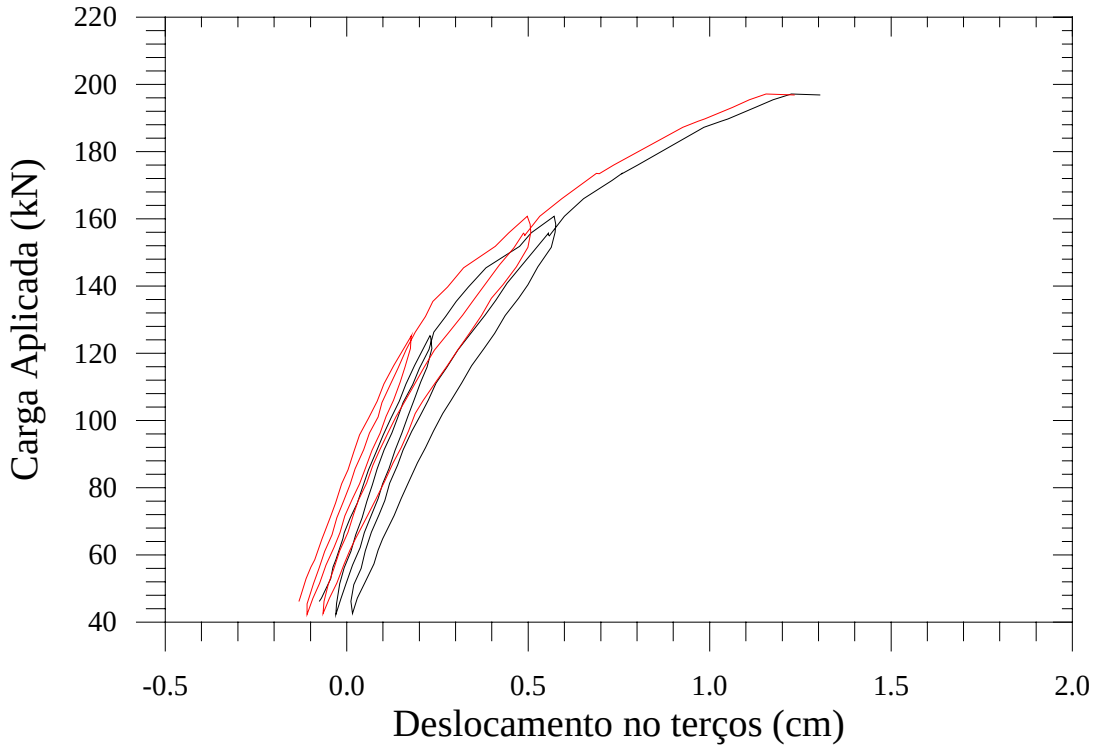

Figura B.28 – Curva carga vs. deslocamento nos terços para a viga VGAI2.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

Apêndice C
Gráficos complementares da viga monolítica e das vigas em aduelas

Neste apêndice são mostrados os gráficos complementares da viga monolítica e das vigas em aduelas com diferentes relações l/d_p. Os gráficos são referentes aos deslocamentos, às deformações no concreto, às deformações no aço e a abertura das juntas (vigas em aduelas). A localização dos extensômetros na armadura passiva e no concreto, como também, os deslocamentos e abertura das juntas podem ser vistas nas figuras 4.12 a 4.15

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

VGMH1

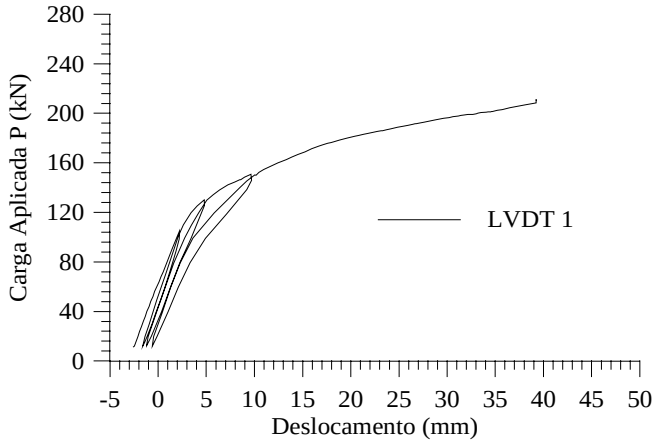

Figura C.1 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 1 da viga VGMH1 (monolítica).

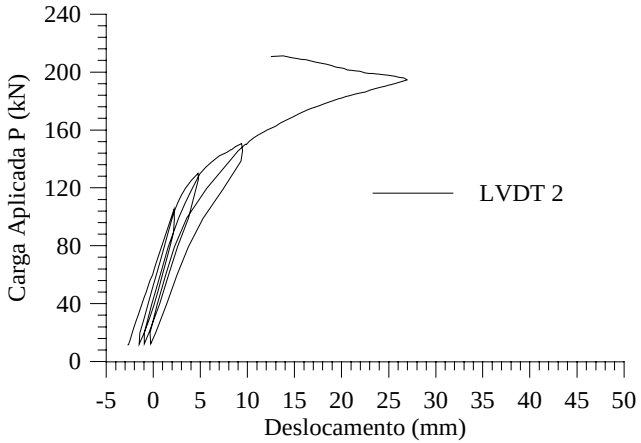

Figura C.2 – Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 2 da viga VGMH1 (monolítica).

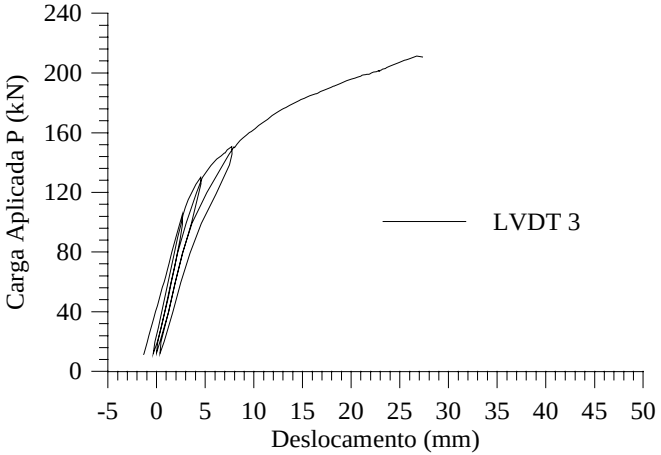

Figura B.3 – Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 3 da viga VGMH1 (monolítica).

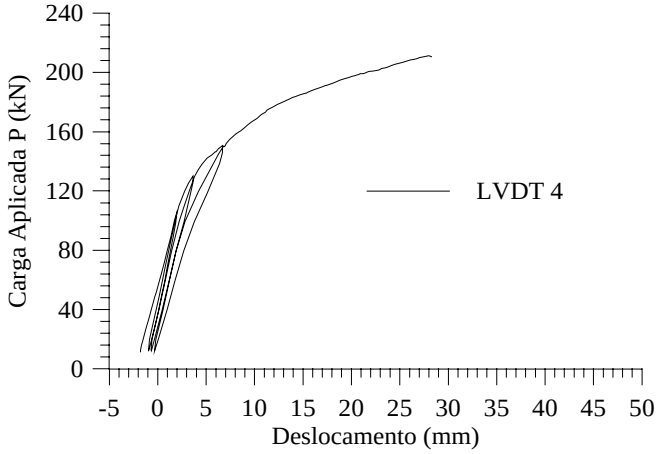

Figura B.4 – Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 4 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

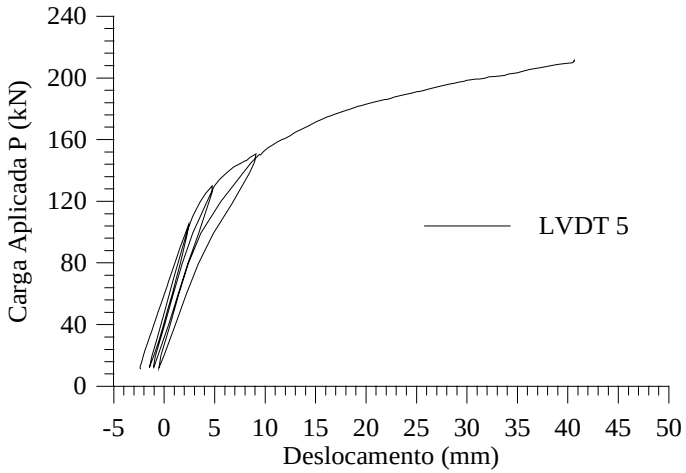

Figura C.5 – Curva carga aplicada vs. Deslocamento do LVDT 5 da viga VGMH1 (monolítica).

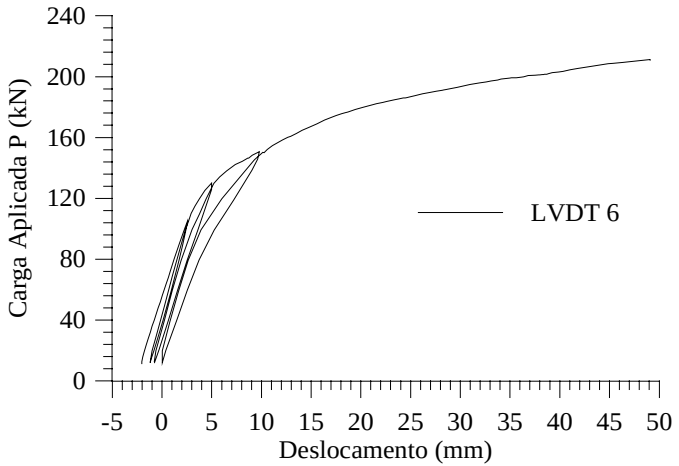

Figura C.6 – Curva carga aplicada vs. Deslocamento do LVDT 6 da viga VGMH1 (monolítica).

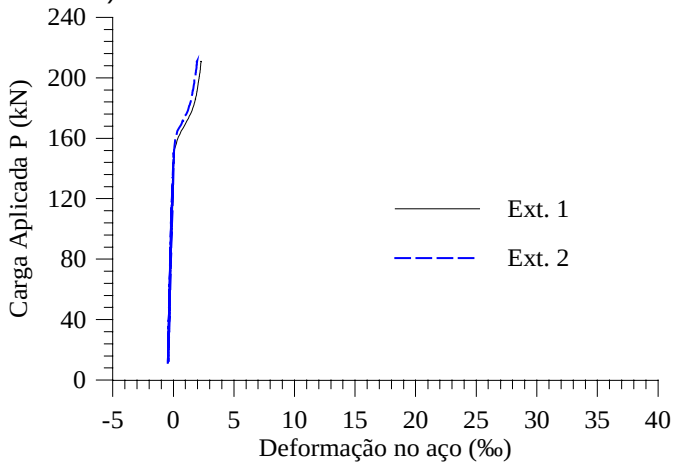

Figura C.7 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 1 e 2 da viga VGMH1 (monolítica).

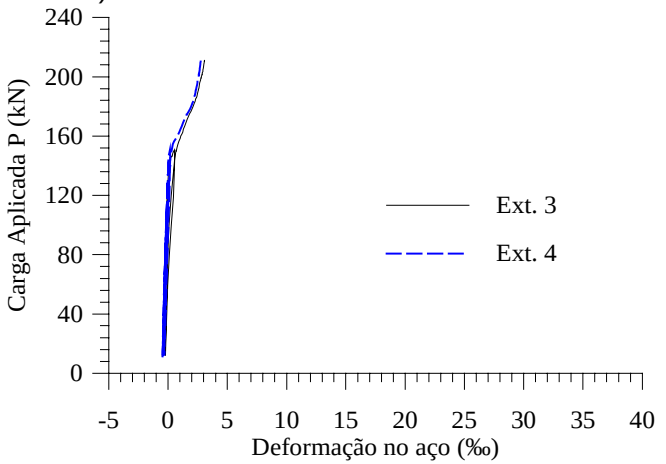

Figura C.8 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 3 e 4 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

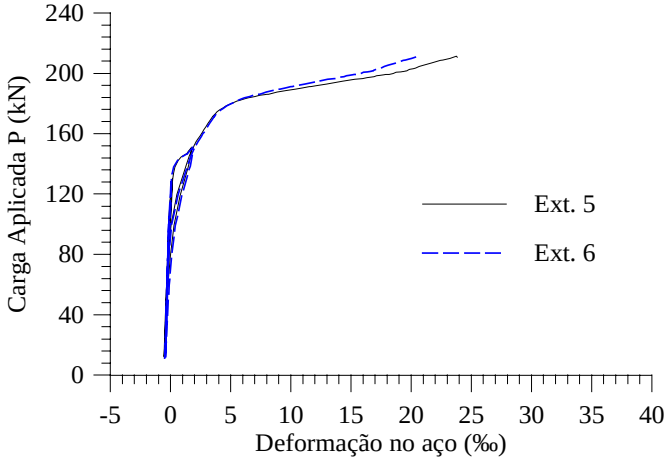

Figura C.9 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 5 e 6 da viga VGMH1 (monolítica).

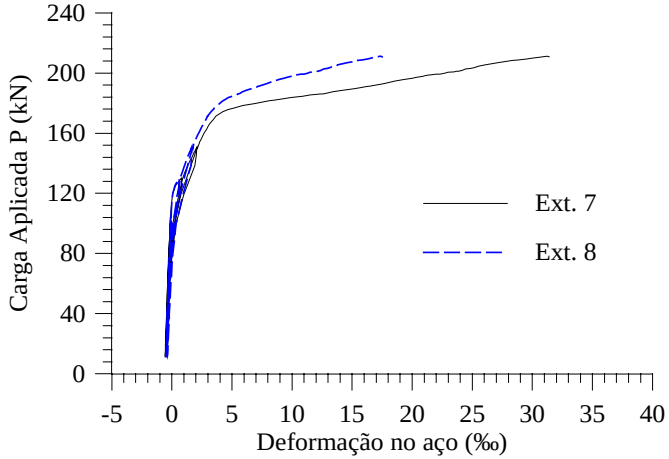

Figura C.10 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 7 e 8 da viga VGMH1 (monolítica).

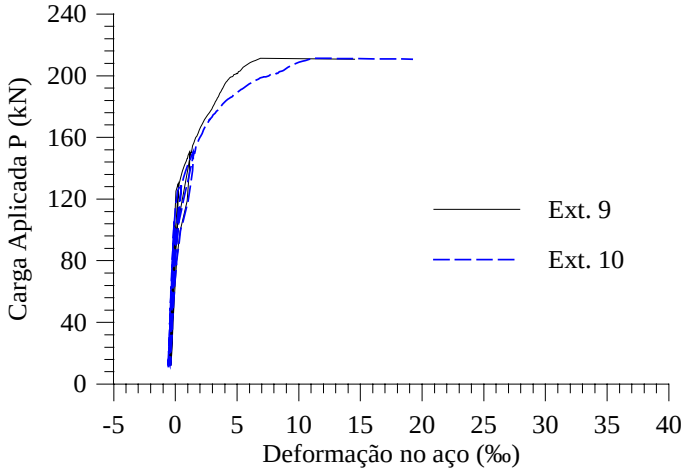

Figura C.11 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 9 e 10 da viga VGMH1 (monolítica).

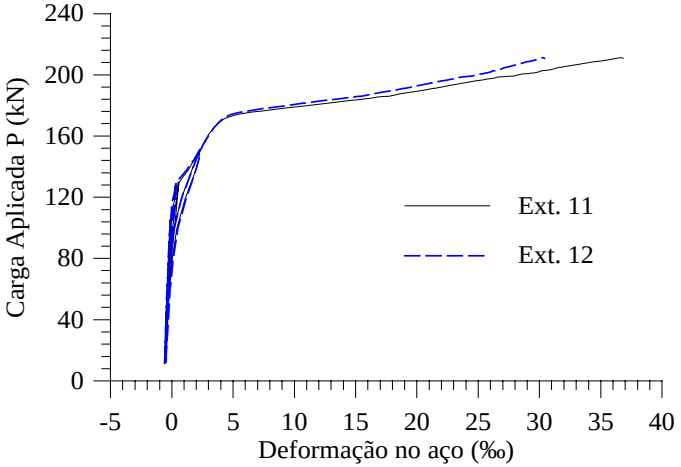

Figura C.12 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 11 e 12 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

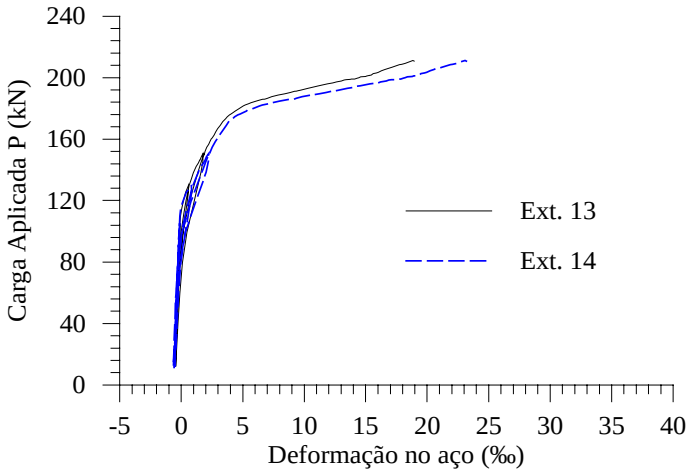

Figura C.13 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 13 e 14 da viga VGMH1 (monolítica).

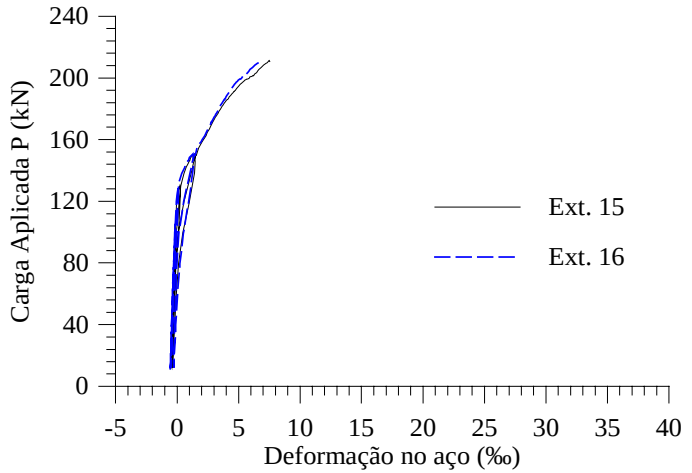

Figura C.14 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 15 e 16 da viga VGMH1 (monolítica).

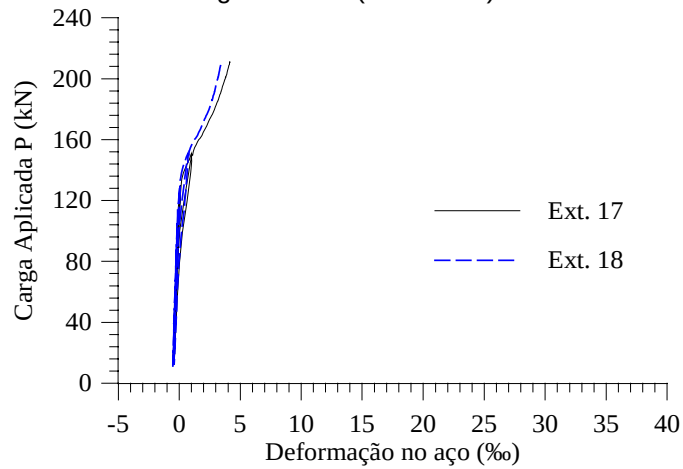

Figura C.15 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 17 e 18 da viga VGMH1 (monolítica).

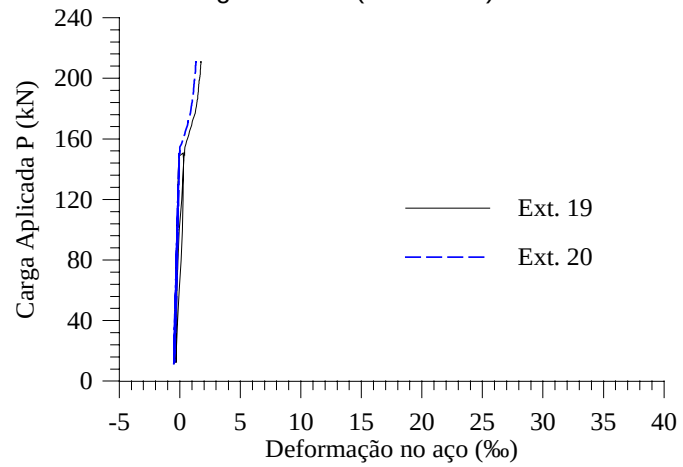

Figura C.16 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 19 e 20 da viga VGMH1 (monolítica

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

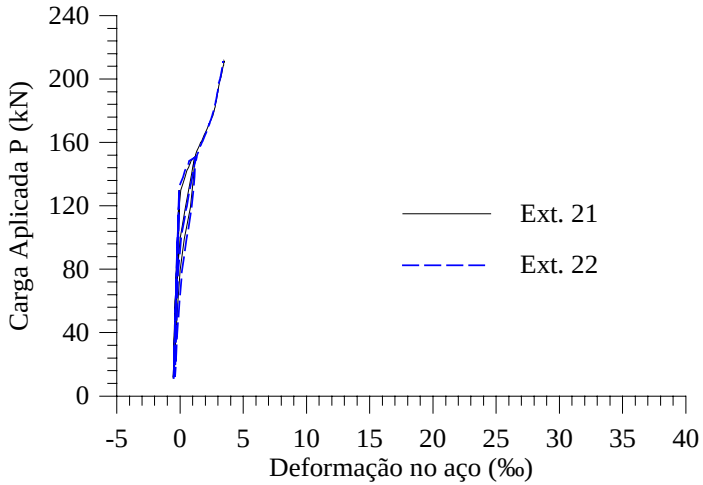

Figura C.17 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 21 e 22 da viga VGMH1 (monolítica).

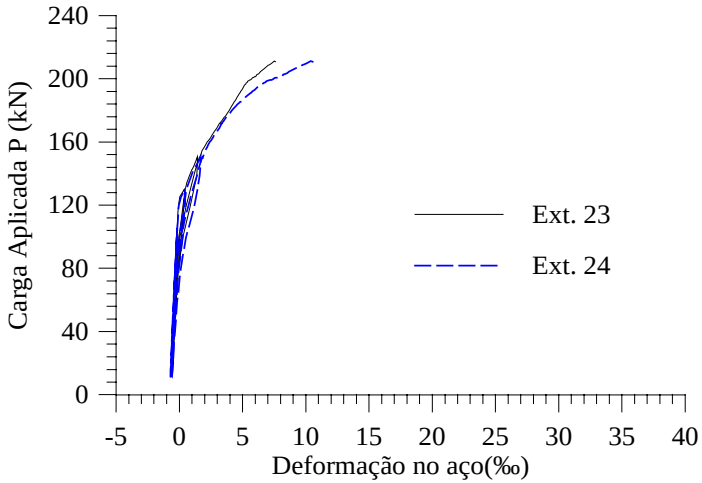

Figura C.18 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 21 e 22 da viga VGMH1 (monolítica).

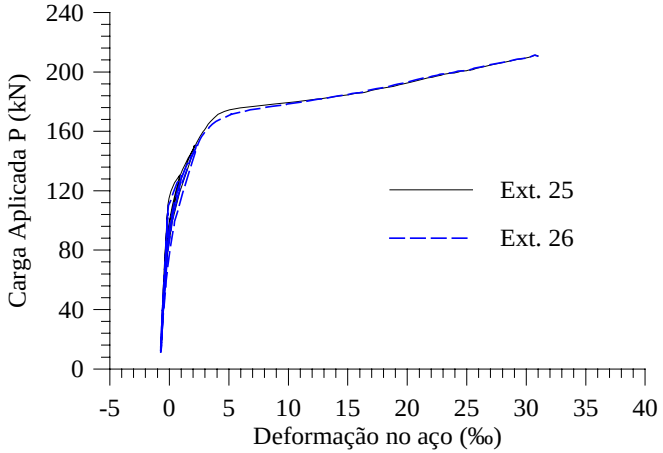

Figura C.19 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 25 e 26 da viga VGMH1 (monolítica).

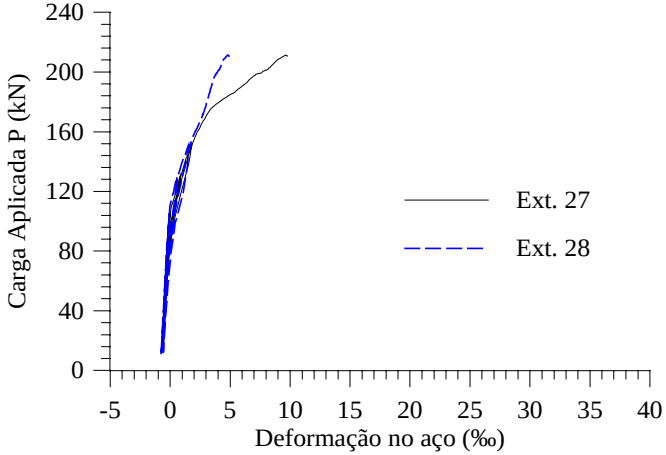

Figura C.20 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 27 e 28 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

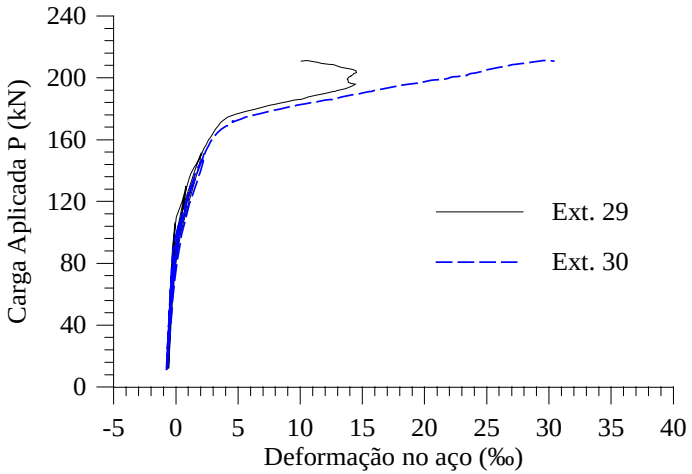

Figura C.21 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 29 e 30 da viga VGMH1 (monolítica).

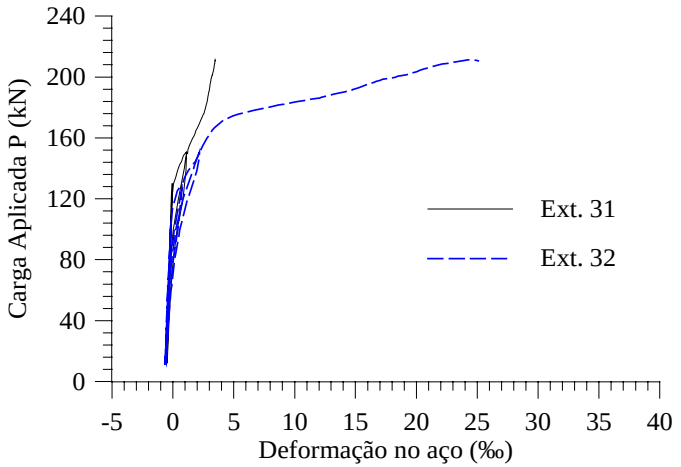

Figura C.22 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 31 e 32 da viga VGMH1 (monolítica).

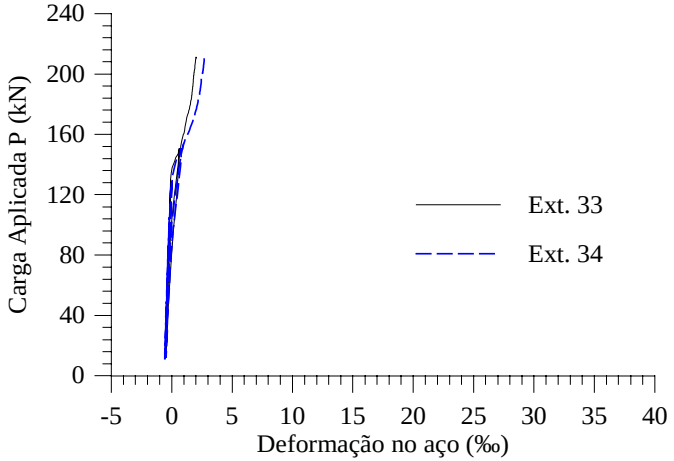

Figura C.23 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 33 E 34 da viga VGMH1 (monolítica).

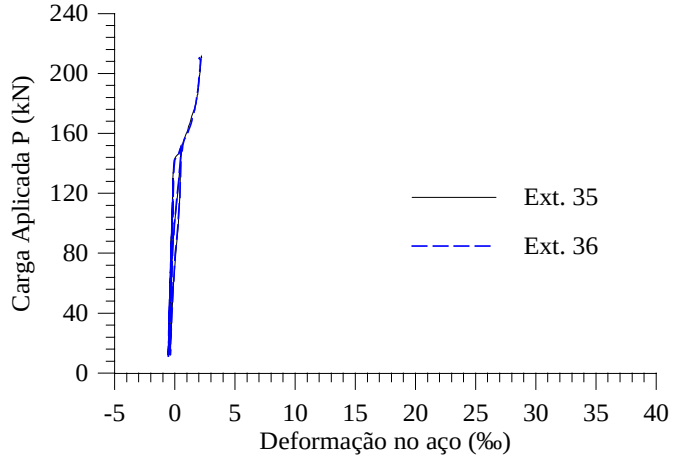

Figura C.24 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 35 e 36 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

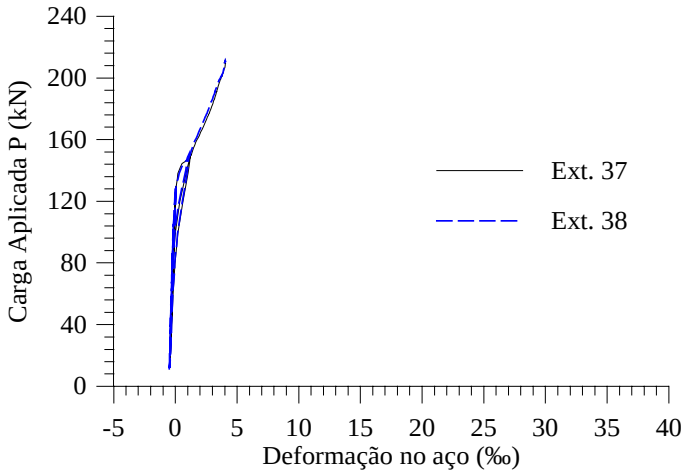

Figura C.25 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 37 e 38 da viga VGMH1 (monolítica).

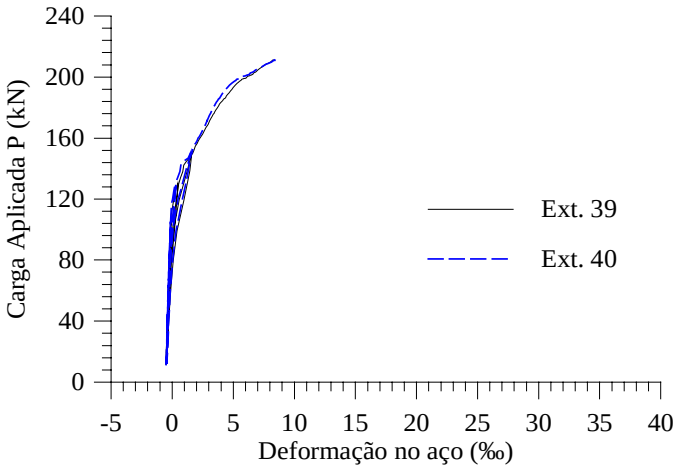

Figura C.25 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 39 e 40 da viga VGMH1 (monolítica).

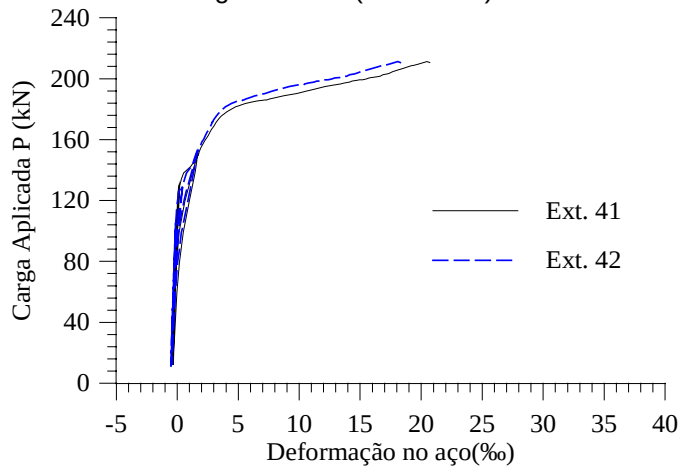

Figura C.27 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 41 e 42 da viga VGMH1 (monolítica).

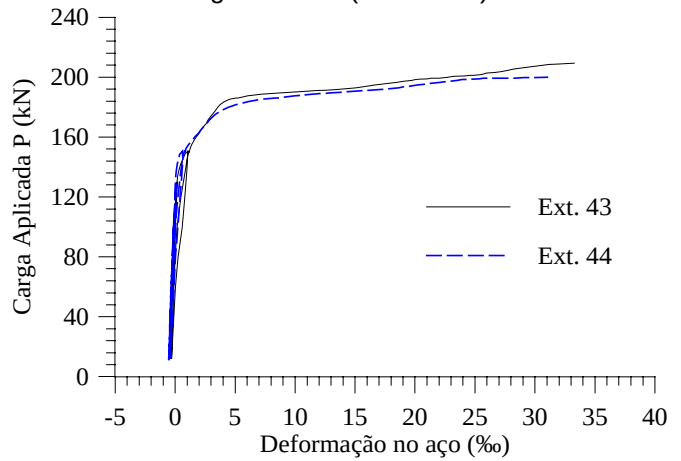

Figura C.28 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 43 e 44 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

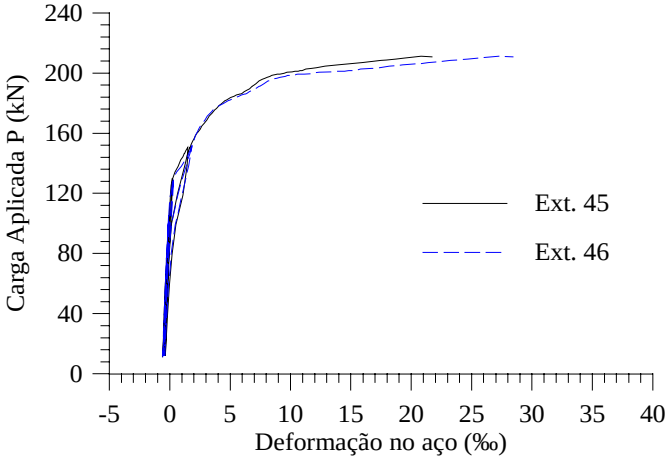

Figura C.29 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 45 e 46 da viga VGMH1 (monolítica).

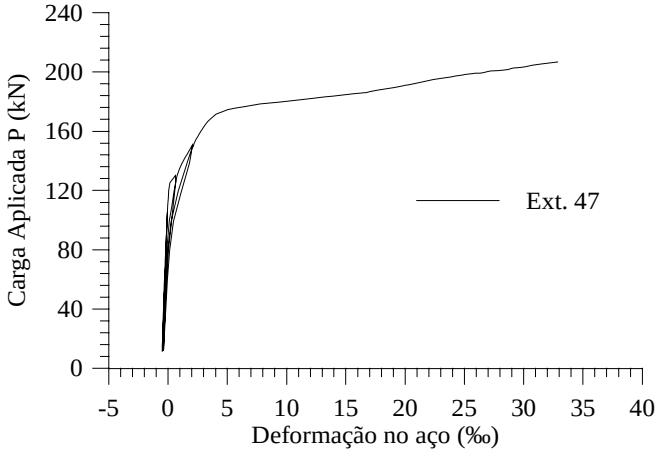

Figura C.30 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetro 47 da viga VGMH1 (monolítica).

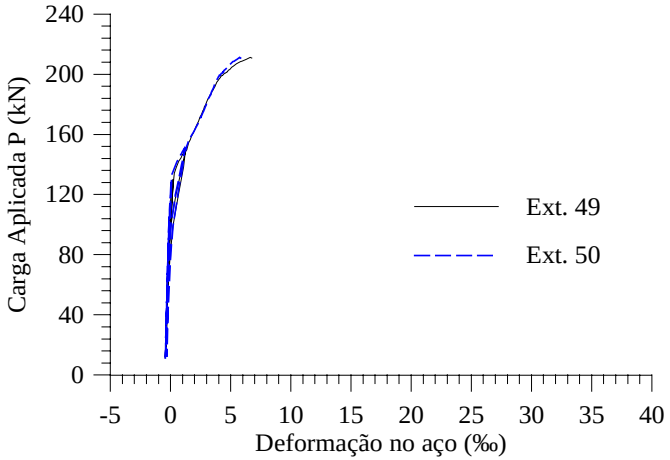

Figura C.31 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 49 e 50 da viga VGMH1 (monolítica).

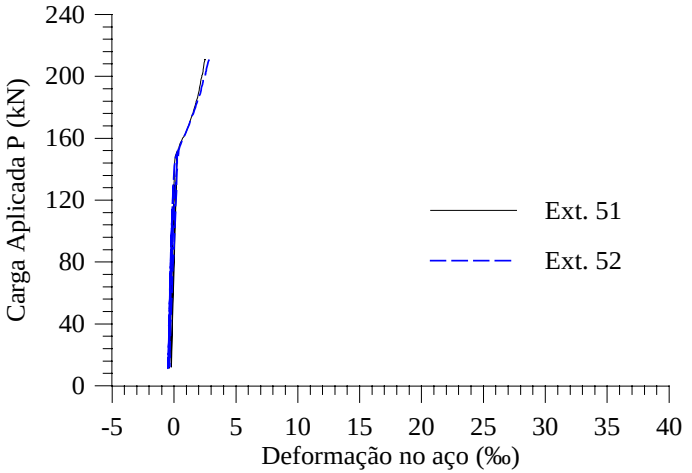

Figura C.32 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 51 e 52 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

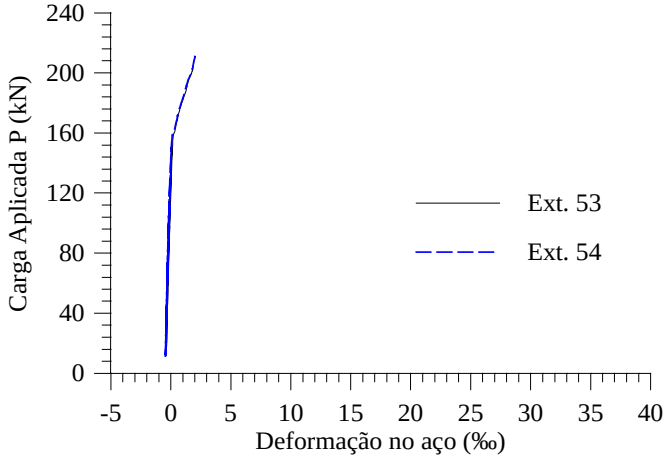

Figura C.33 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 53 e 54 da viga VGMH1 (monolítica).

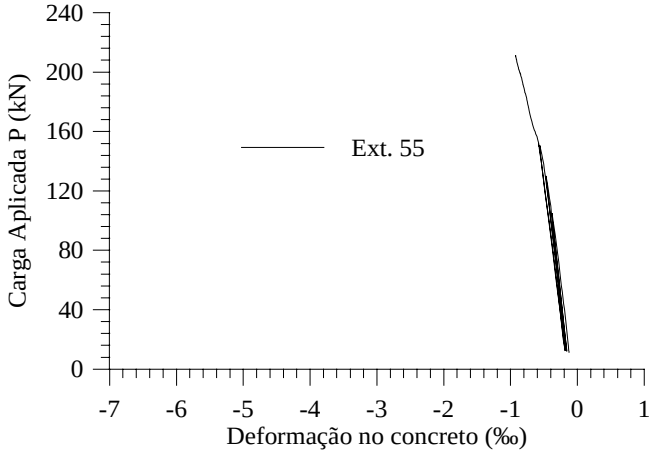

Figura C.34 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 55 da viga VGMH1 (monolítica).

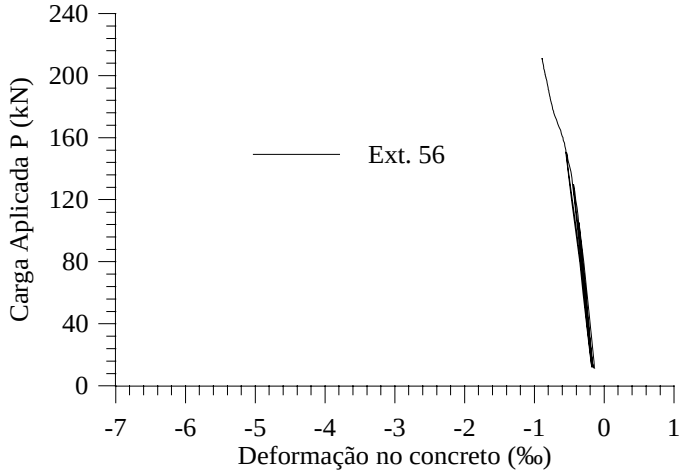

Figura C.35 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 56 da viga VGMH1 (monolítica).

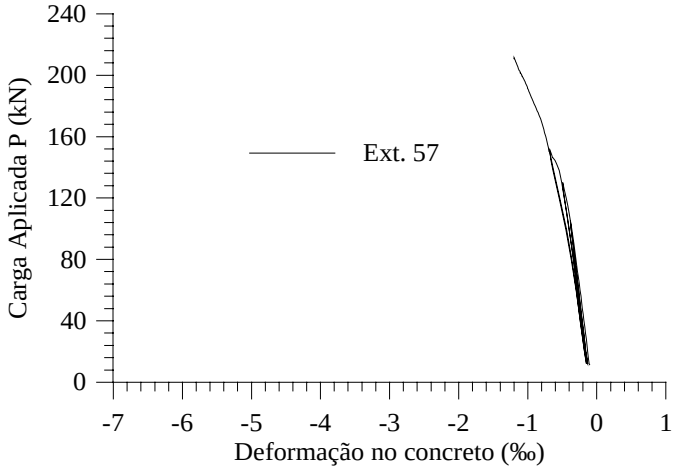

Figura C.36 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 57 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

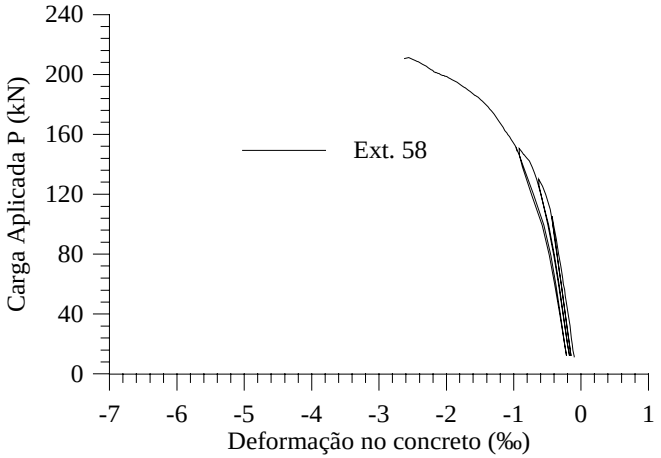

Figura C.37 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 58 da viga VGMH1 (monolítica).

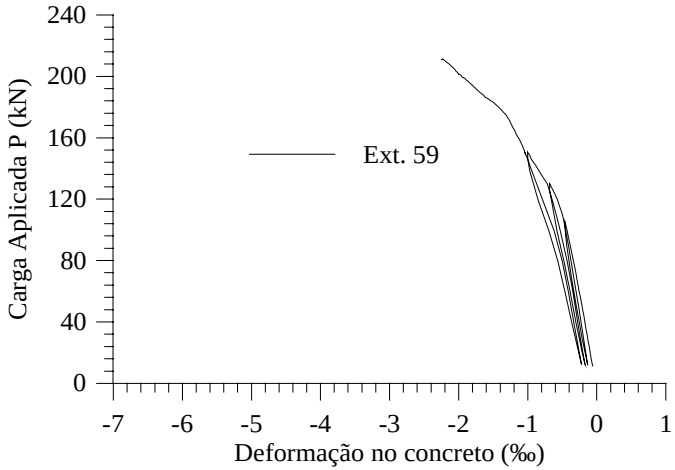

Figura C.38 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 59 da viga VGMH1 (monolítica).

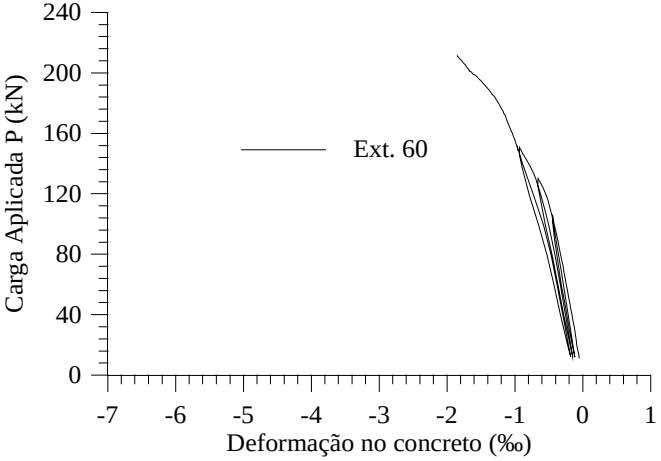

Figura C.39 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 60 da viga VGMH1 (monolítica).

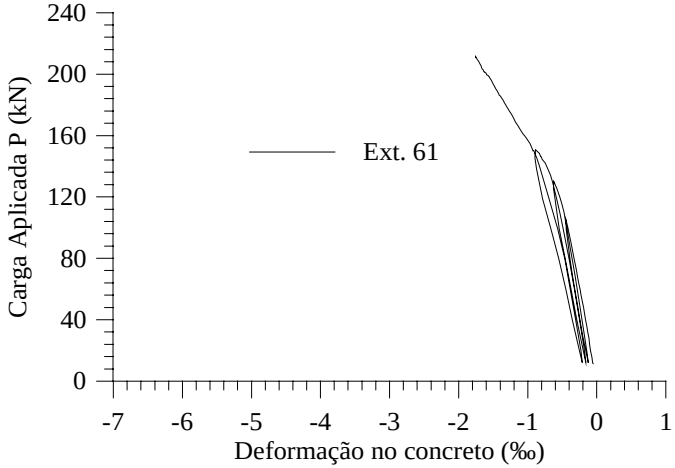

Figura C.40 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 61 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

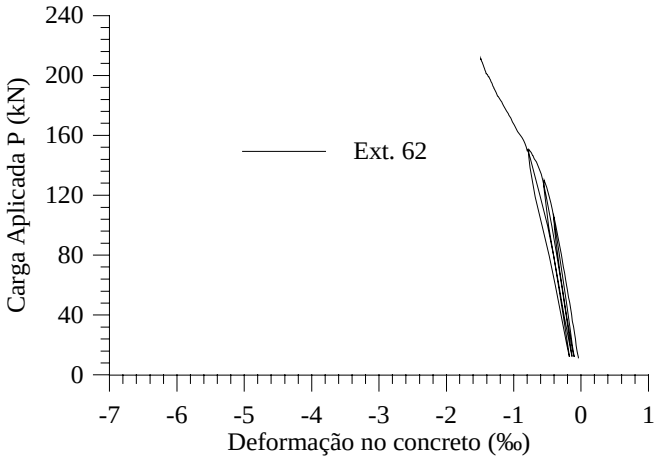

Figura C.41 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 62 da viga VGMH1 (monolítica).

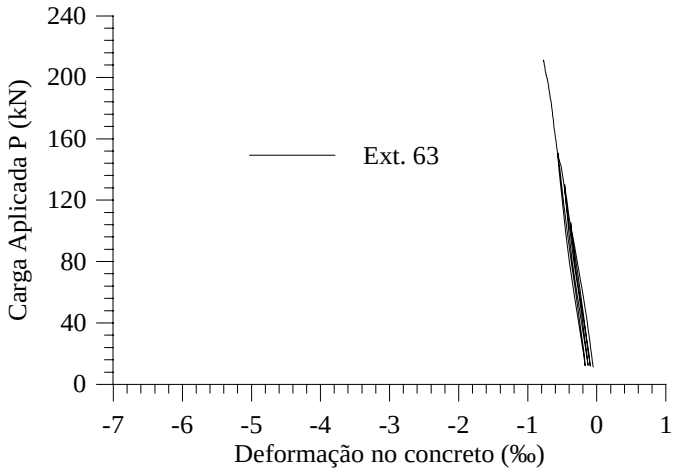

Figura C.42 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 63 da viga VGMH1 (monolítica).

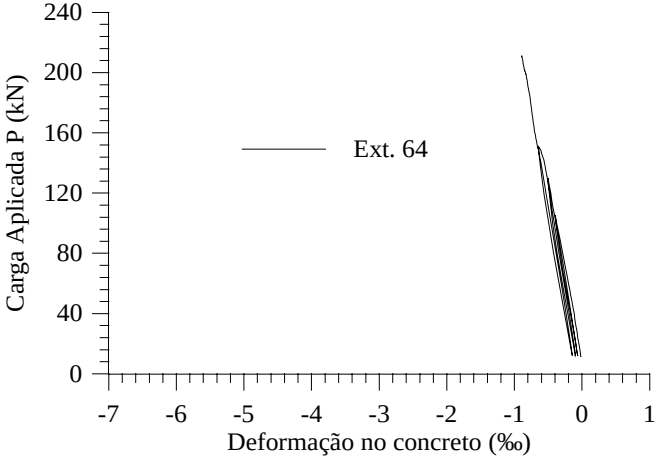

Figura C.43 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 64 da viga VGMH1 (monolítica).

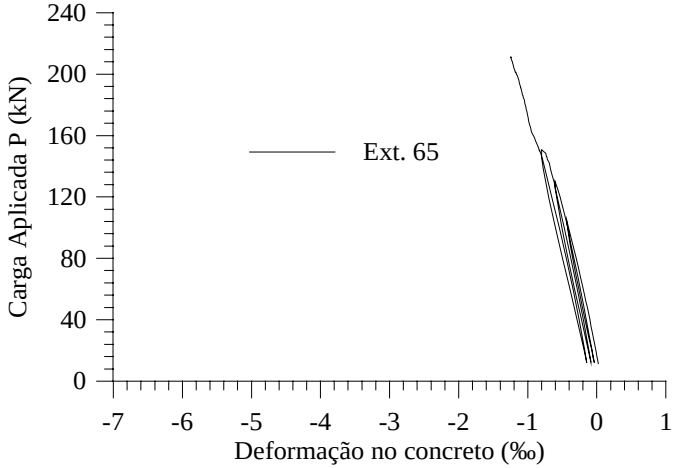

Figura C.44 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 65 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

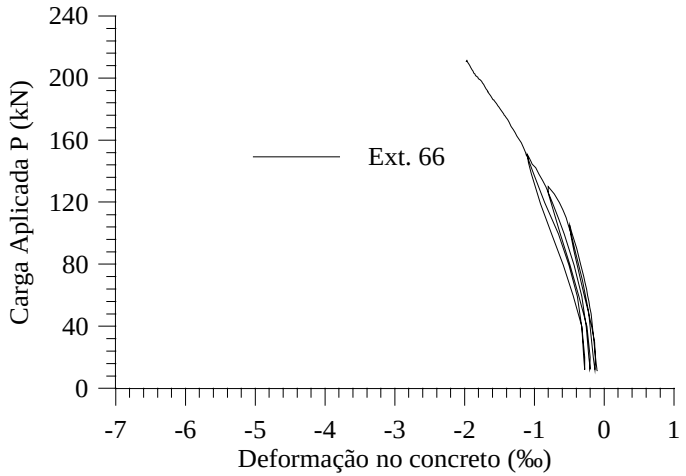

Figura C.45 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 66 da viga VGMH1 (monolítica).

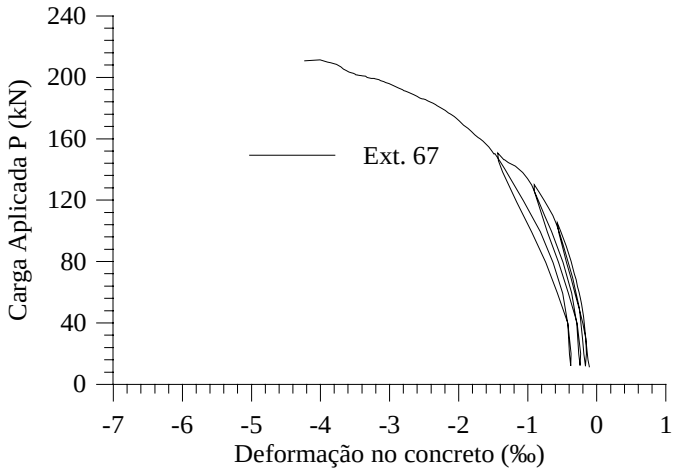

Figura C.46 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 67 da viga VGMH1 (monolítica).

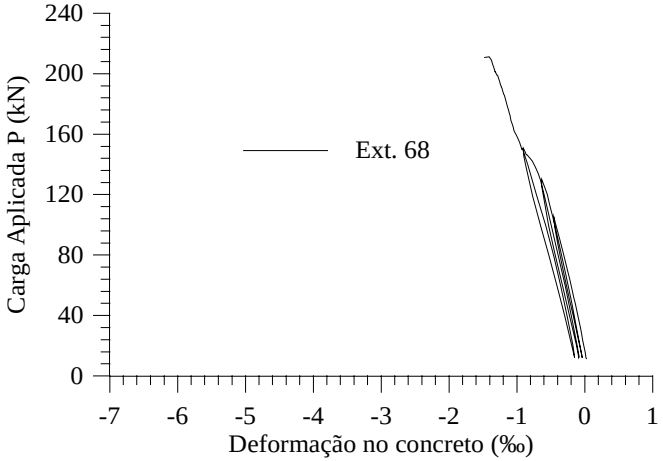

Figura C.47 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 68 da viga VGMH1 (monolítica).

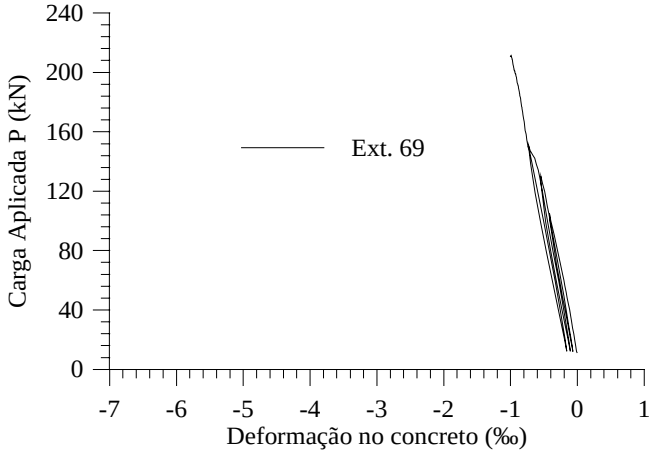

Figura C.48 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 69 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

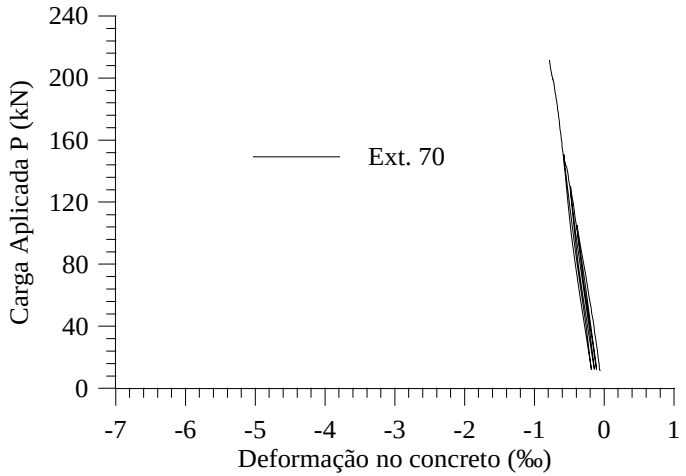

Figura C.49 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 70 da viga VGMH1 (monolítica).

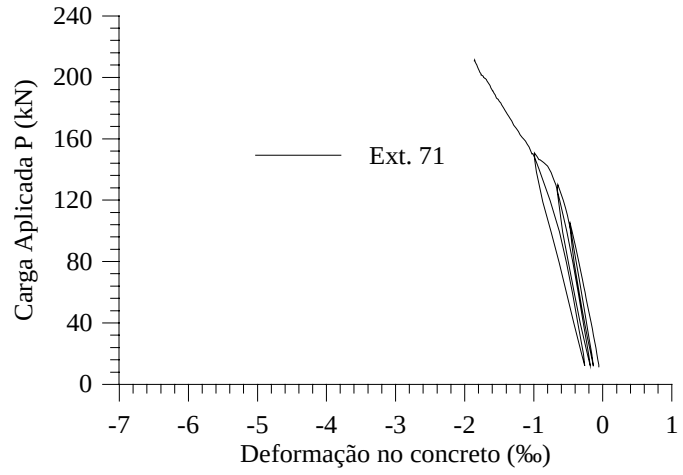

Figura C.50 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 71 da viga VGMH1 (monolítica).

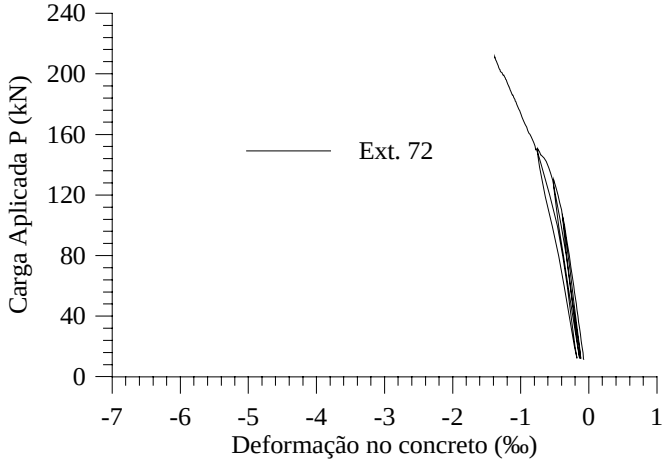

Figura C.51 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 72 da viga VGMH1 (monolítica).

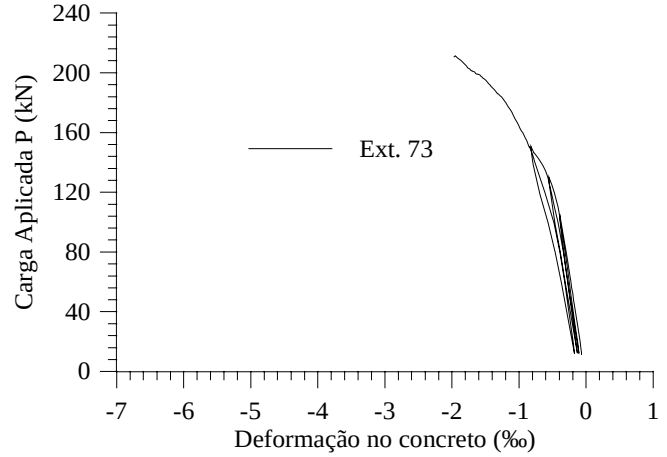

Figura C.52 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 73 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

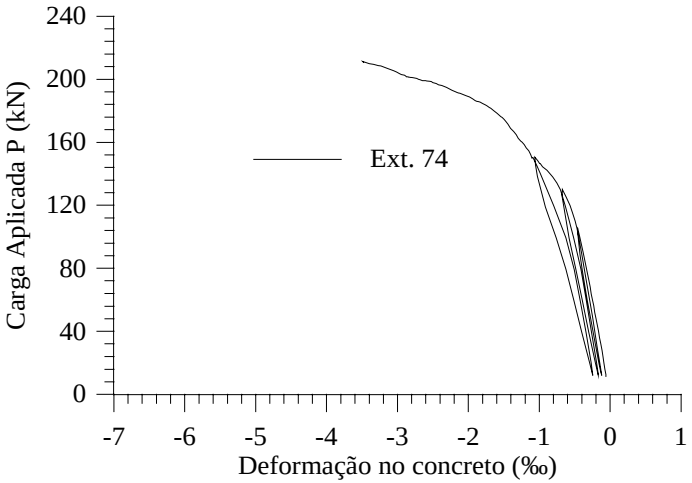

Figura C.53 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 74 da viga VGMH1 (monolítica).

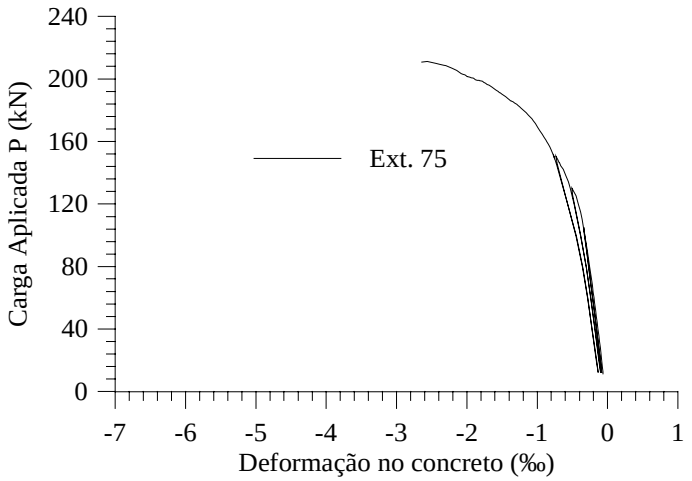

Figura C.54 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 75 da viga VGMH1 (monolítica).

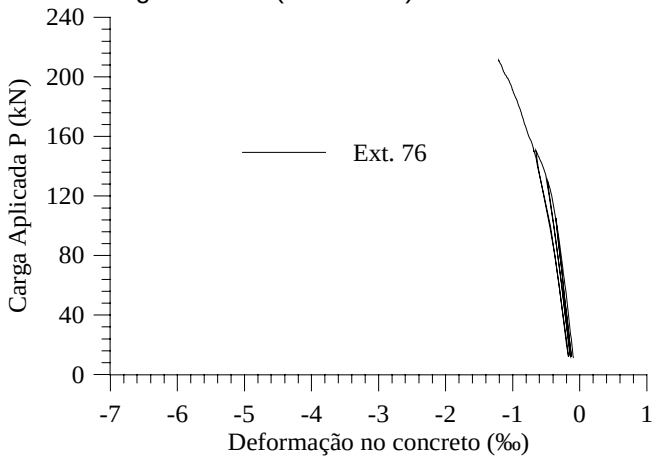

Figura C.55 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 76 da viga VGMH1 (monolítica).

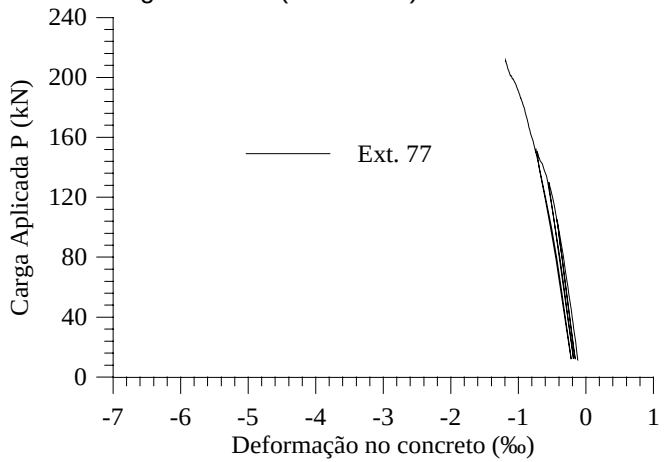

Figura C.56 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 77 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

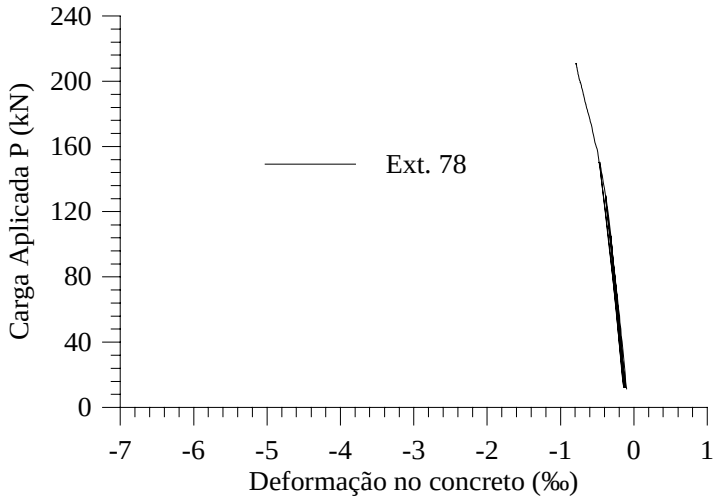

Figura C.57 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 78 da viga VGMH1 (monolítica).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

VGAH1

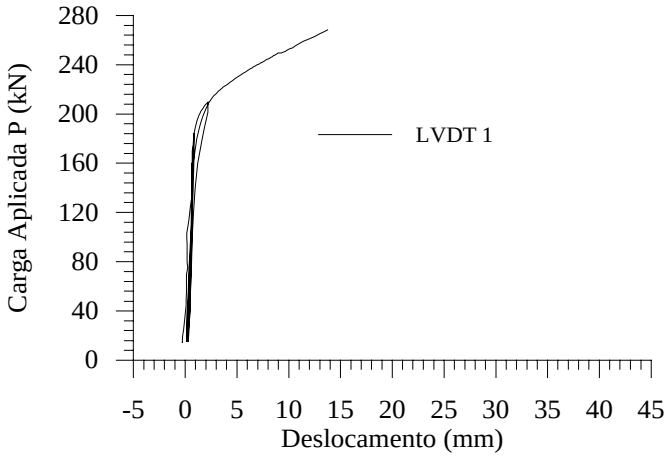

Figura C.58 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 1 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

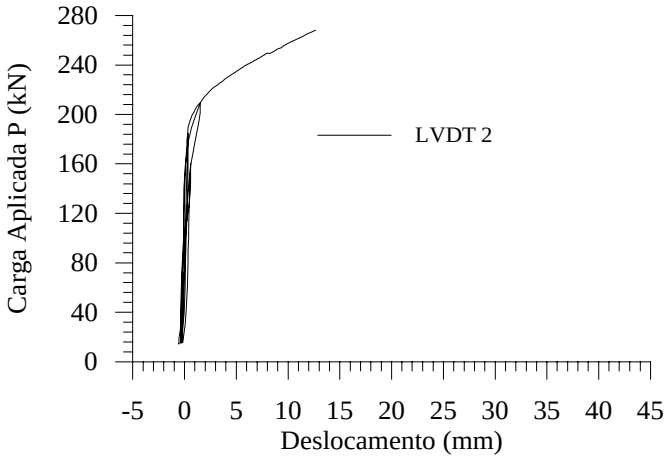

Figura C.59 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 2 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

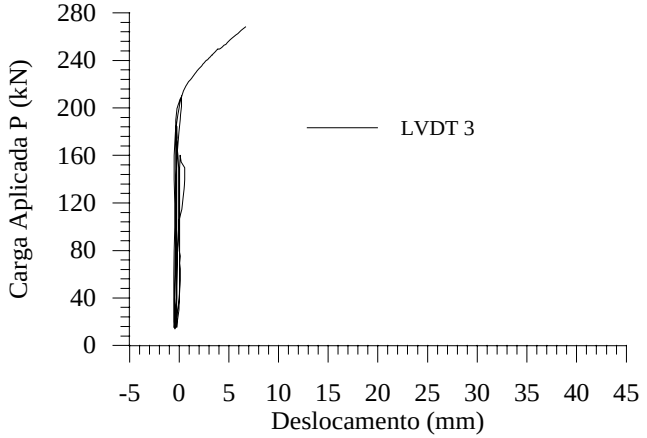

Figura C.60 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 3 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

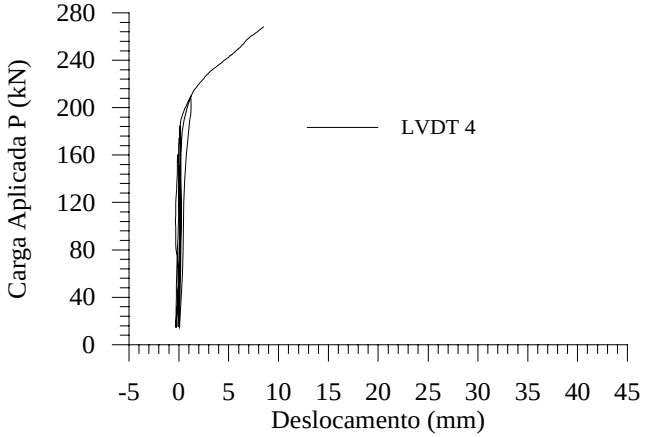

Figura C.61 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 4 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

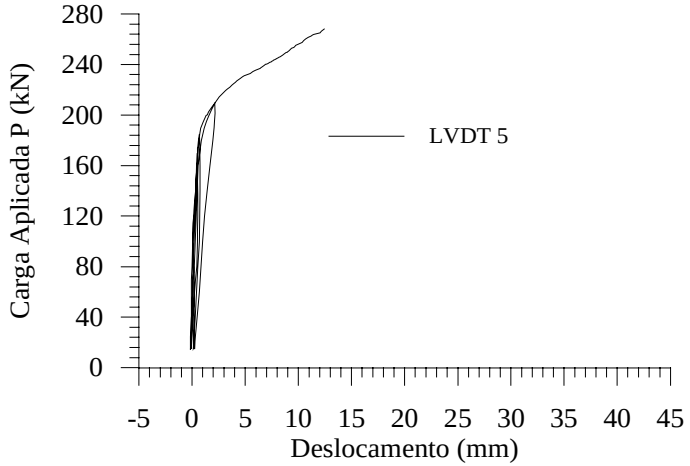

Figura C.62 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 5 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

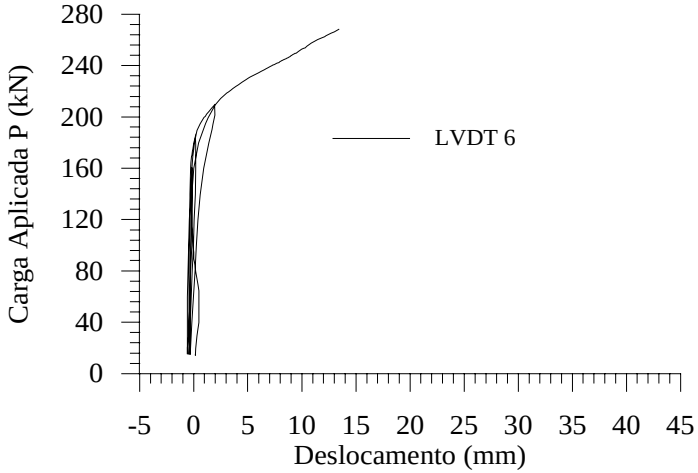

Figura C.63 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 6 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

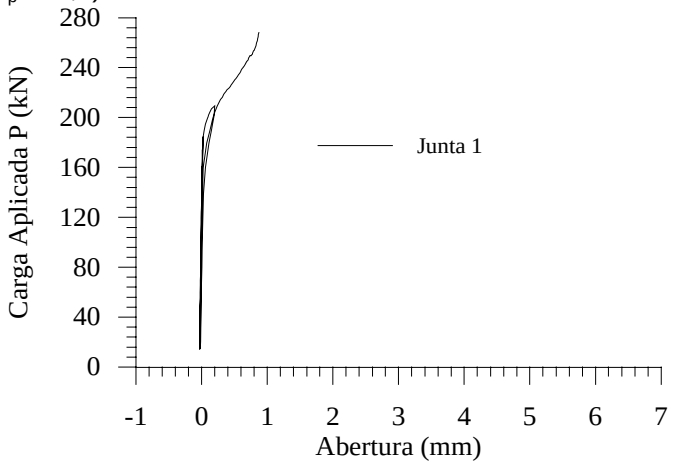

Figura C.64 - Curva carga aplicada vs. abertura da junta 1 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

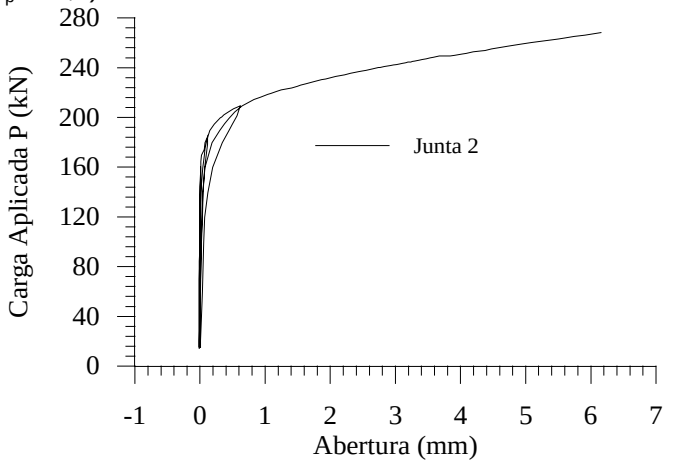

Figura C.65 - Curva carga aplicada vs. abertura da junta 2 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

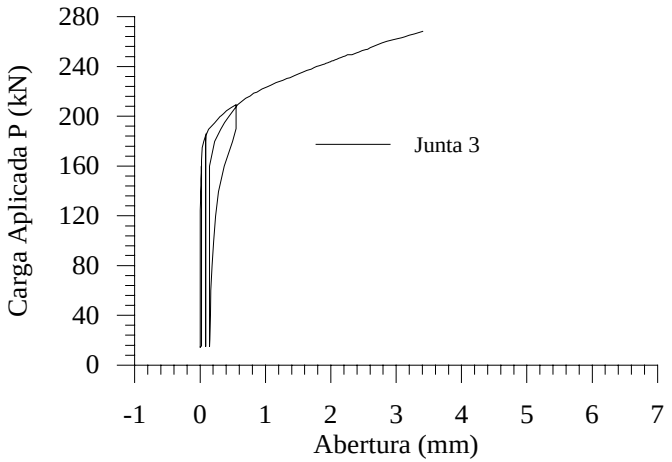

Figura C.66 - Curva carga aplicada vs. abertura da junta 3 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

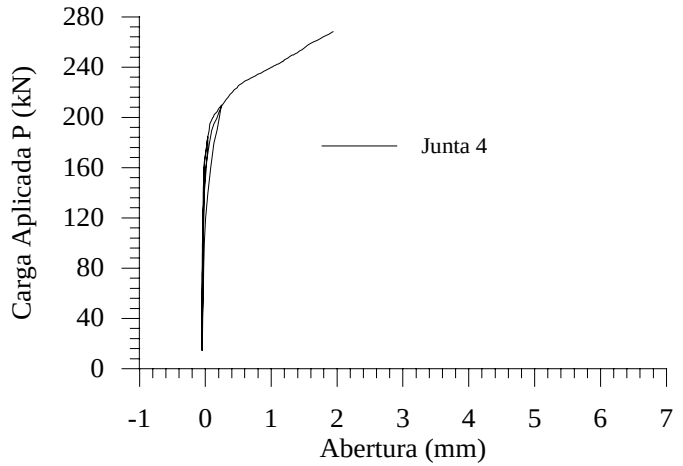

Figura C.67 - Curva carga aplicada vs. abertura da junta 4 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

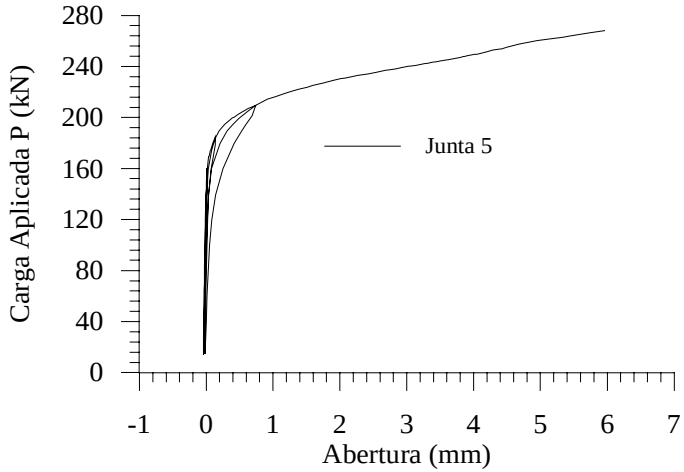

Figura C.68 - Curva carga aplicada vs. abertura da junta 5 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

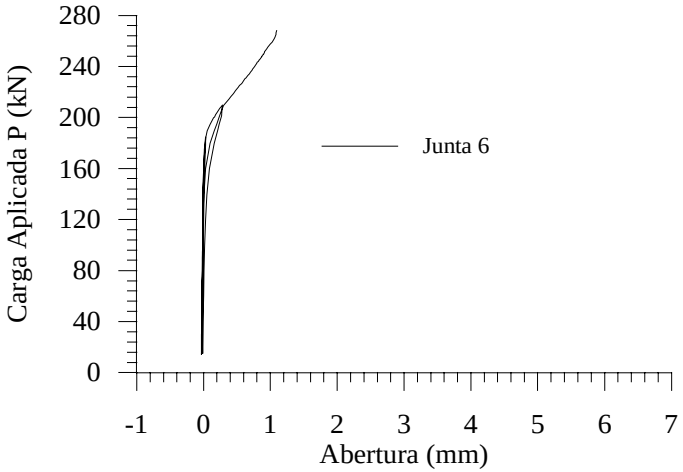

Figura C.69 - Curva carga aplicada vs. abertura da junta 6 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

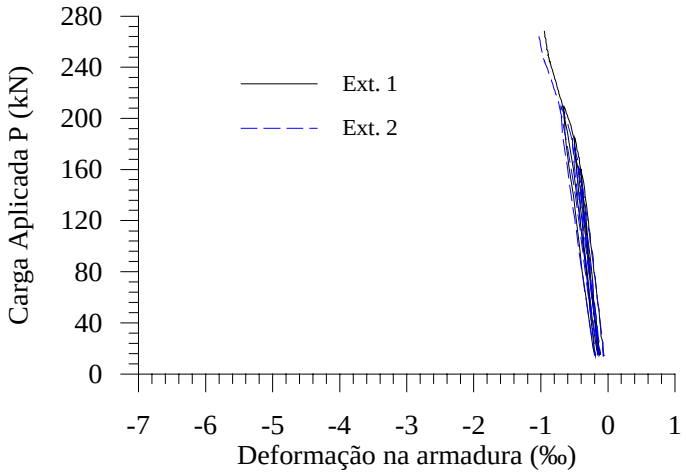

Figura C.70 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 1 e 2 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

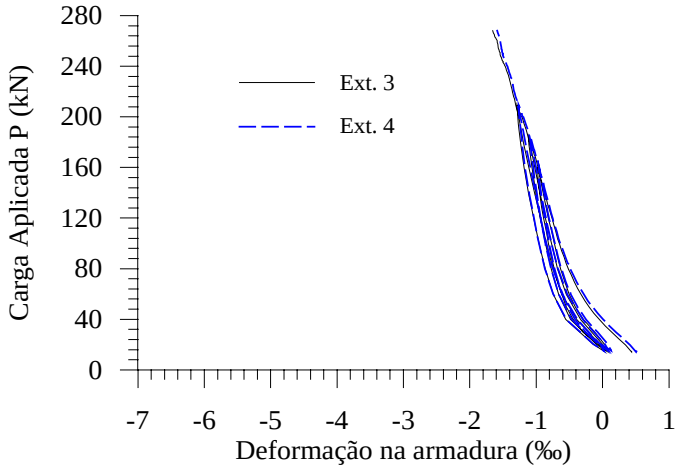

Figura C.71 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 3e 4 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

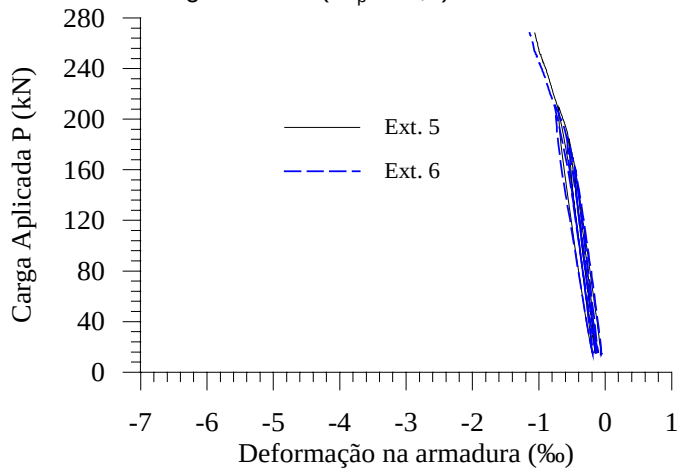

Figura C.72 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 5 e 6 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

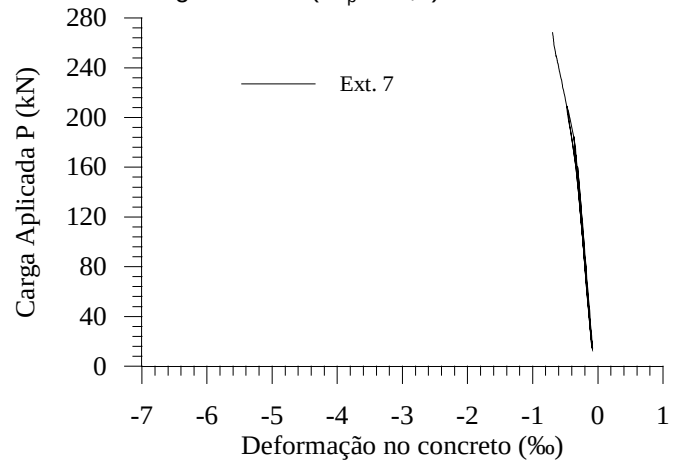

Figura C.73 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 7 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

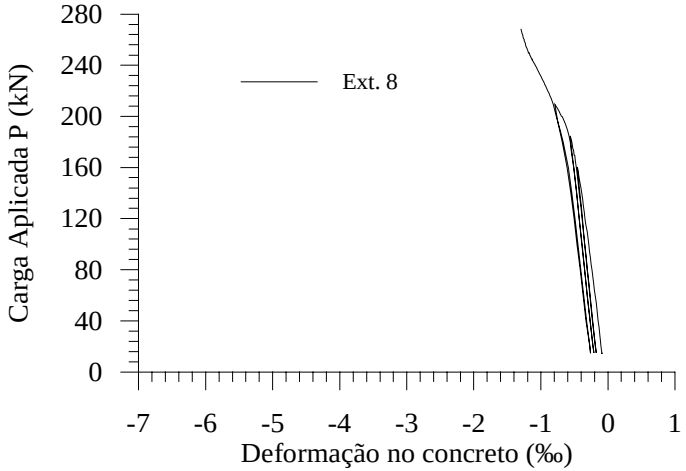

Figura C.74 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 8 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

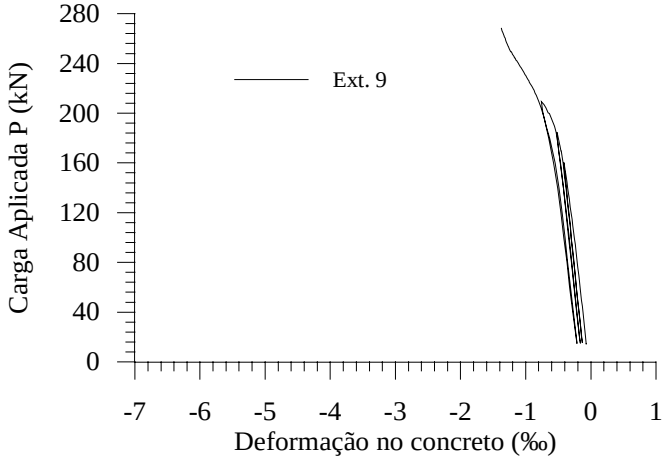

Figura C.75 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 9 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

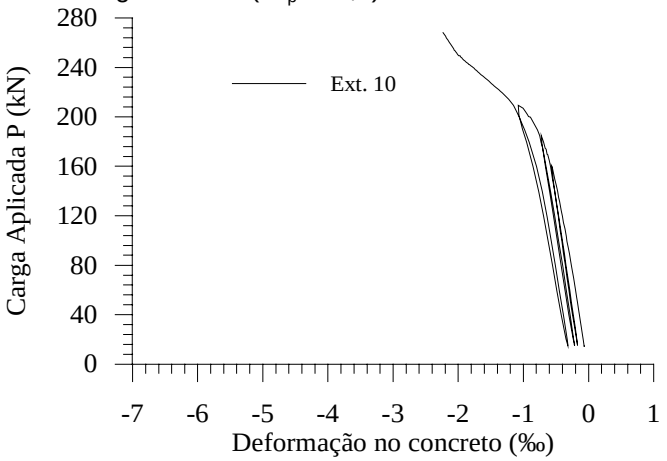

Figura C.76 – Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 10 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

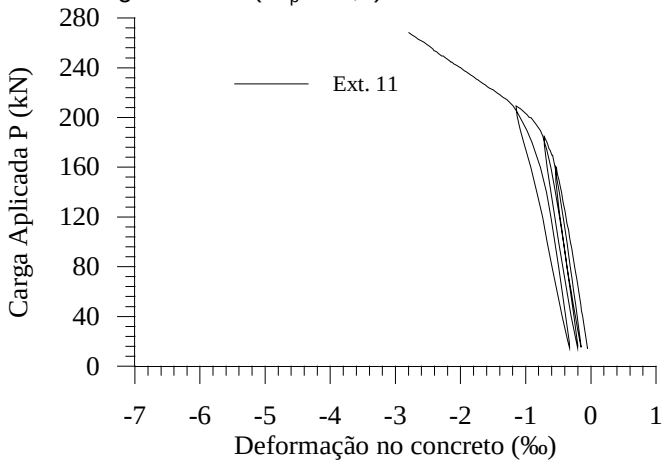

Figura C.77 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 11 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

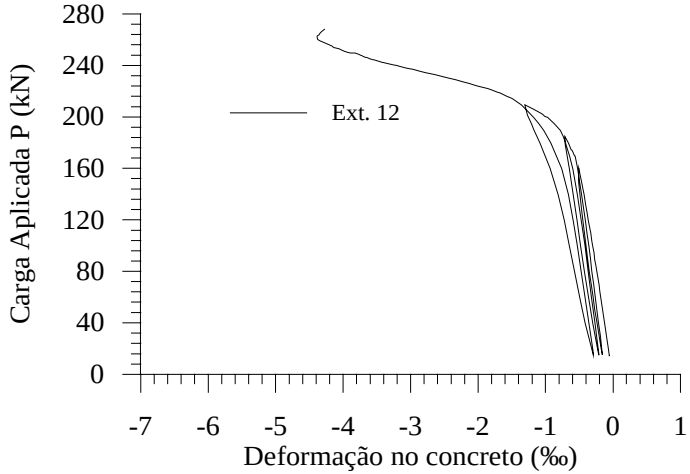

Figura C.78 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 12 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

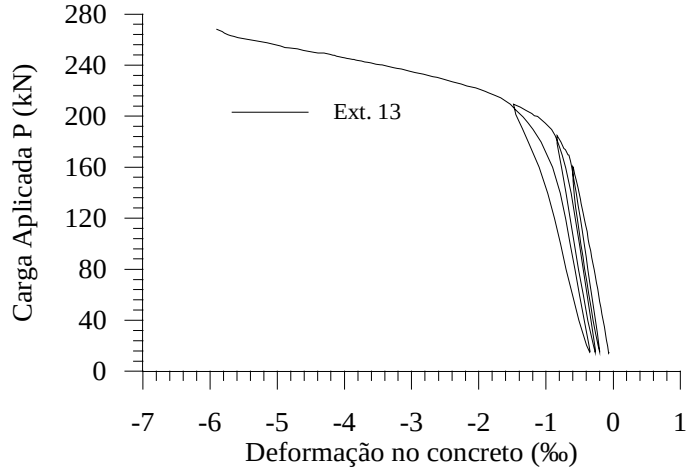

Figura C.79 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 13 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

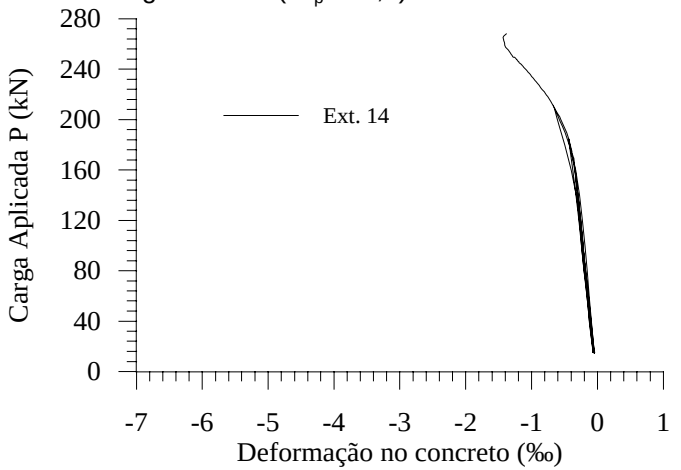

Figura C.80 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 14 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

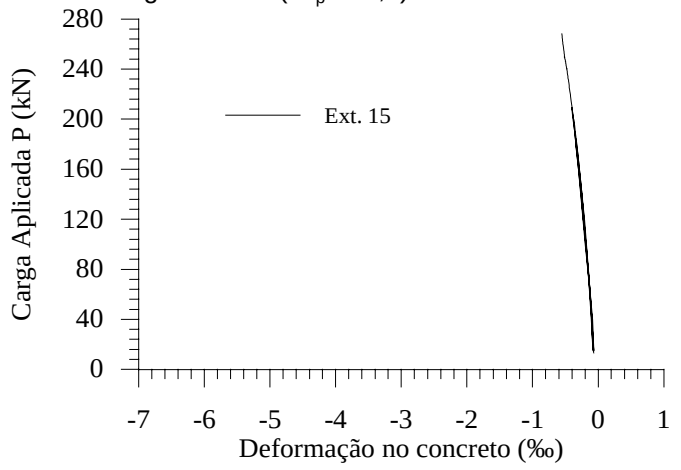

Figura C.81 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 15 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

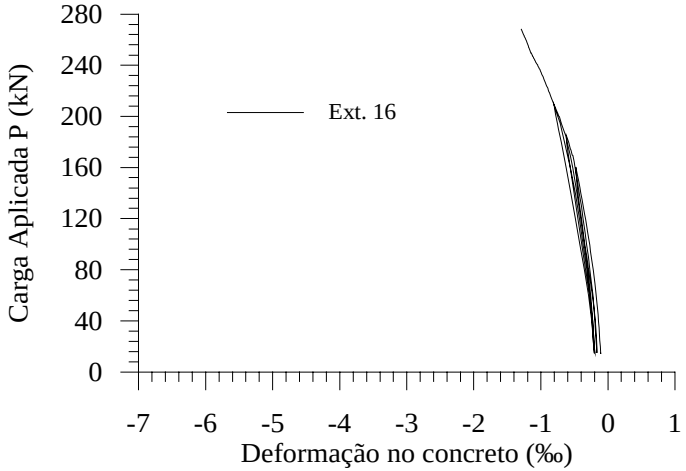

Figura C.82 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 16 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

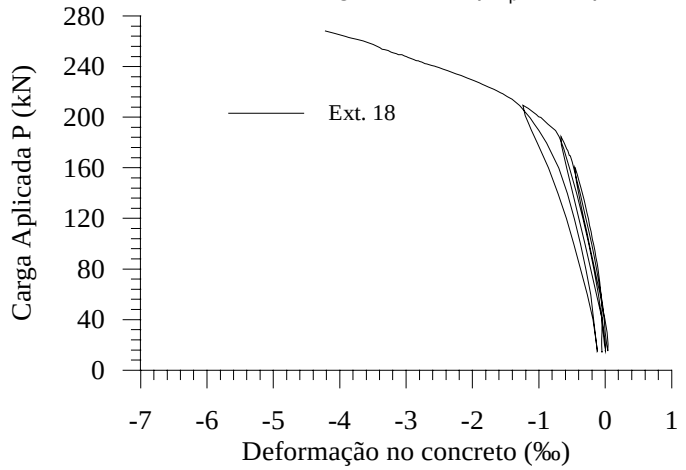

Figura C.84 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 18 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

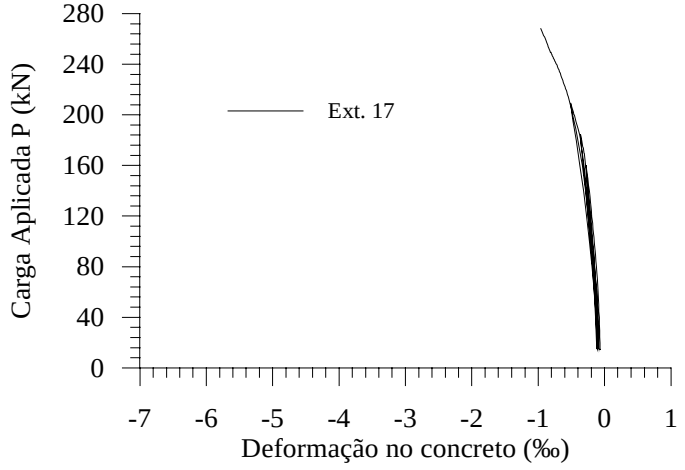

Figura C.83 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 17 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

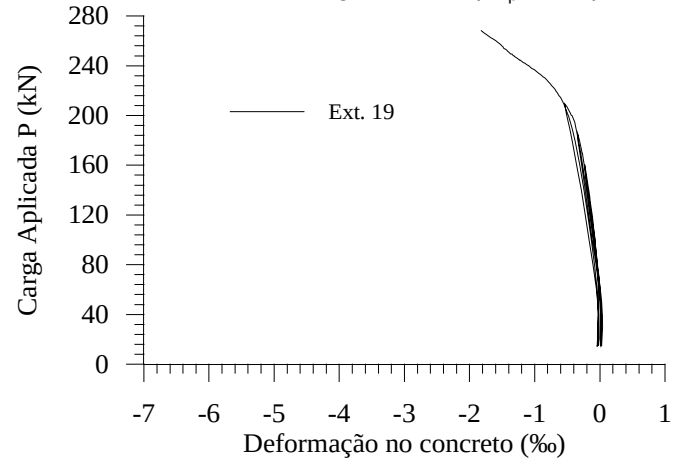

Figura C.85 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 19 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

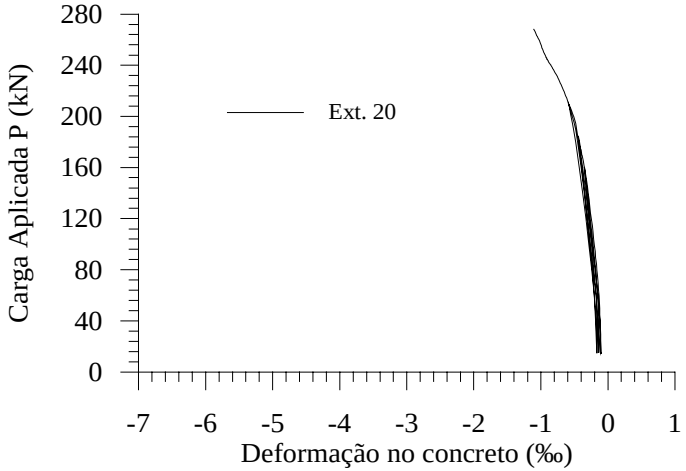

Figura C.86 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 20 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

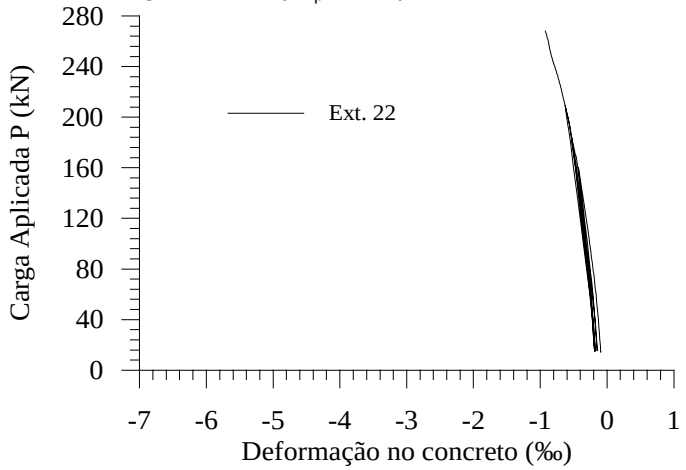

Figura C.86 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 22 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

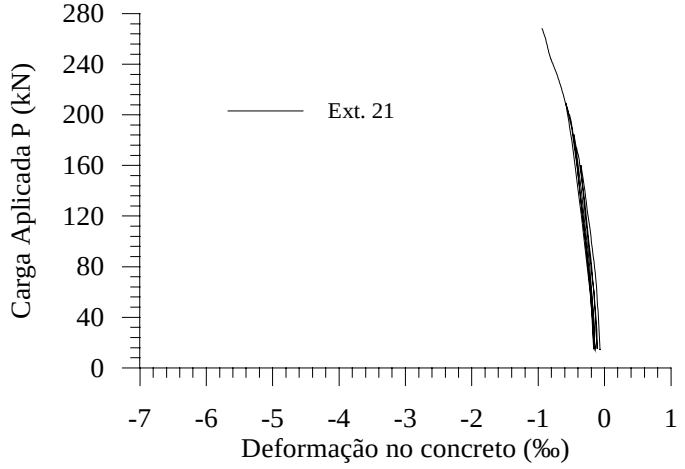

Figura C.87 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 21 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

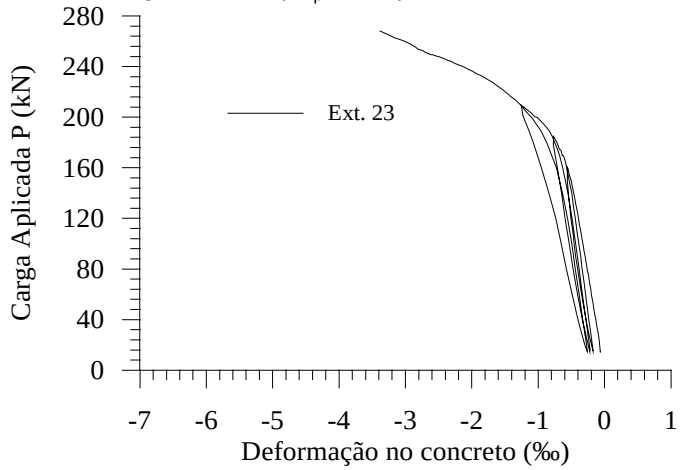

Figura C.89 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 23 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

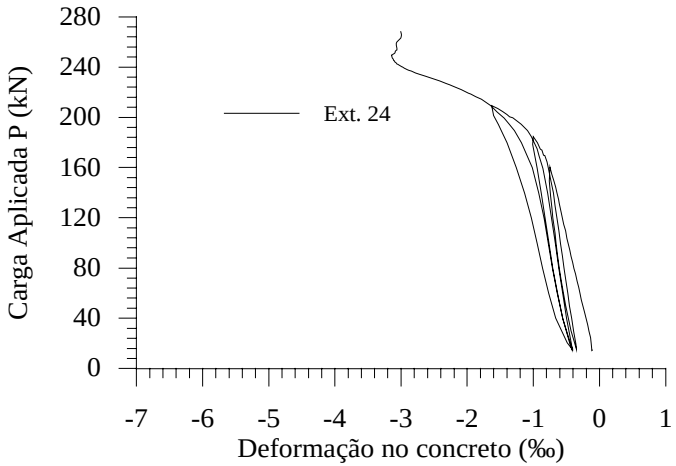

Figura C.90 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 24 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

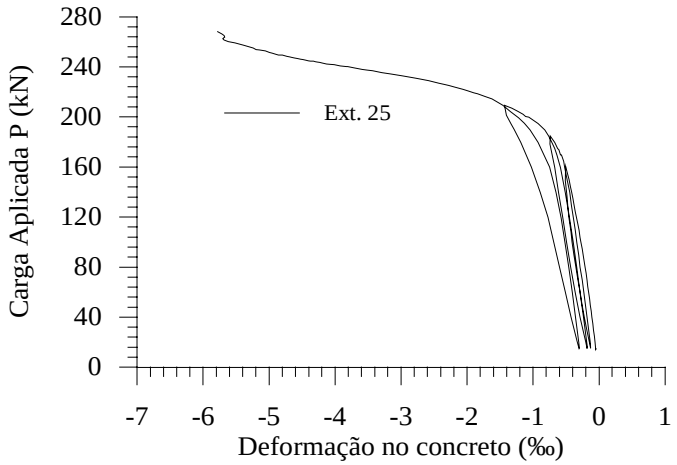

Figura C.91 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 25 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

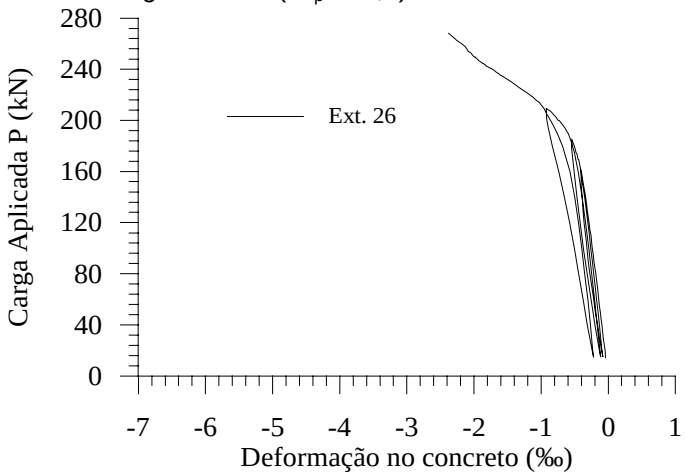

Figura C.92 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 26 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

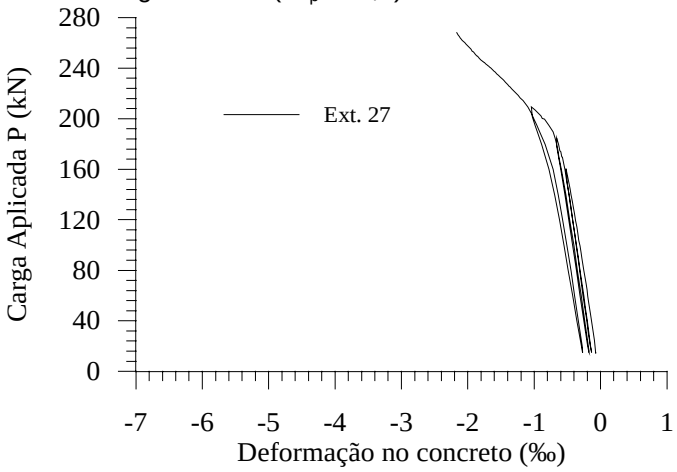

Figura C.93 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 27 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

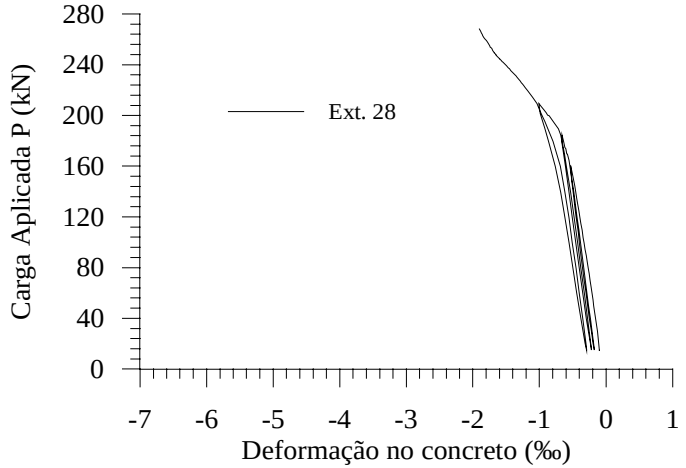

Figura C.94 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 28 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

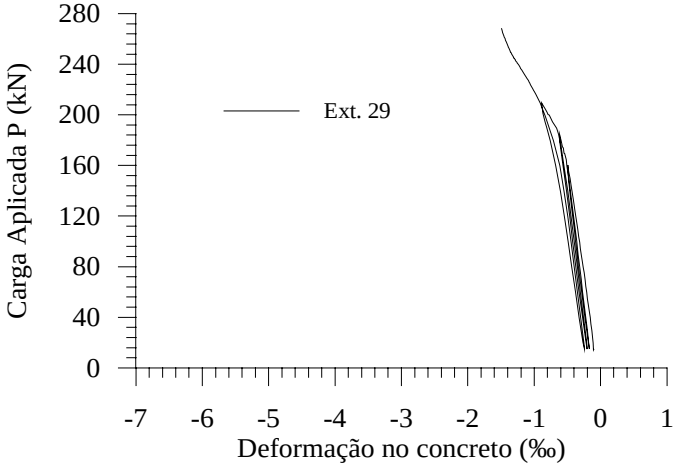

Figura C.95 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 29 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

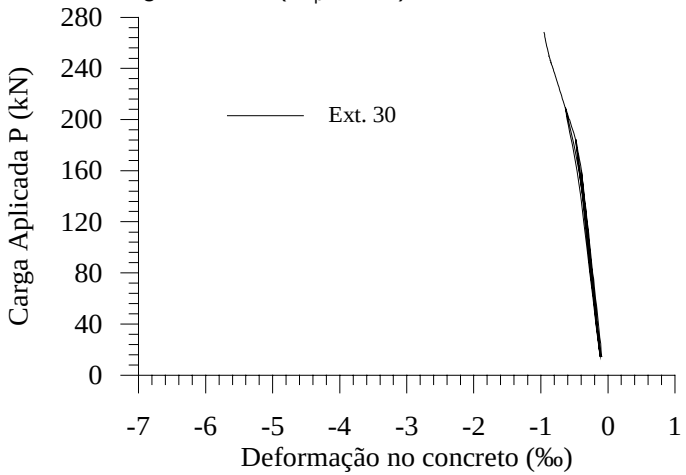

Figura C.96 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 30 da viga VGAH1 (l/d_p =12,5).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

VGAH2

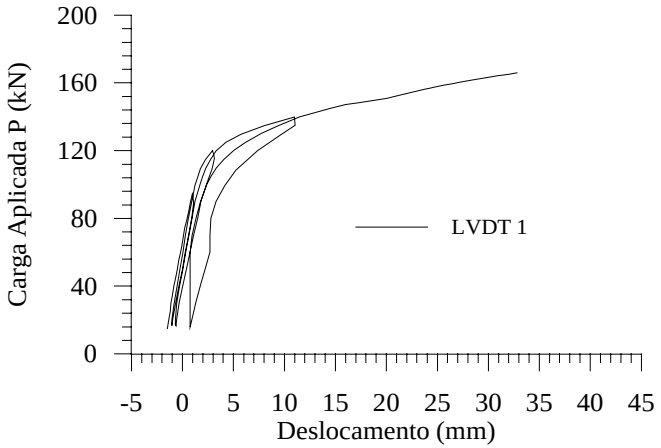

Figura C.97 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 1 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

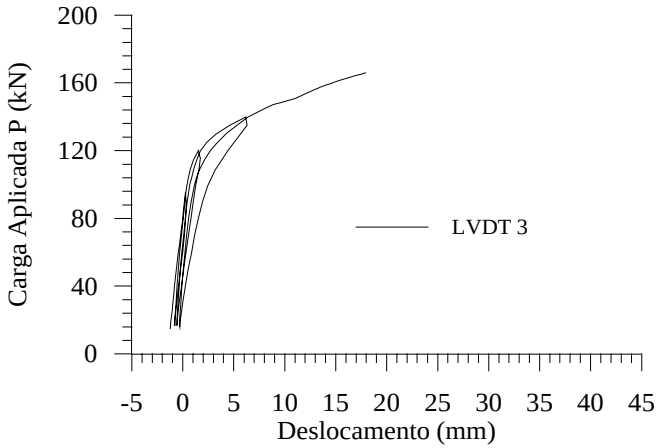

Figura C.98 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 3 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

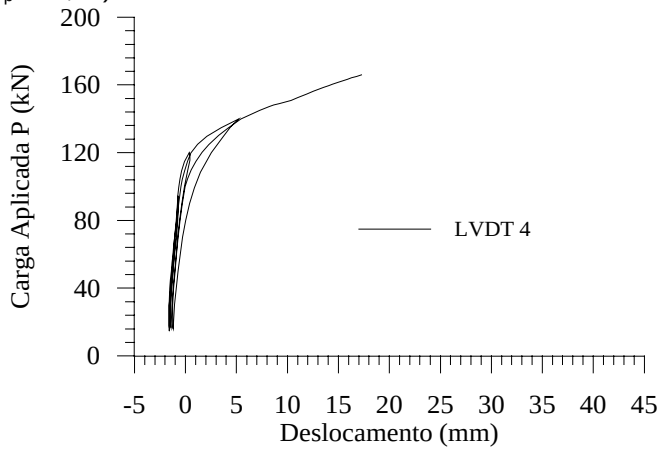

Figura C.99 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 4 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

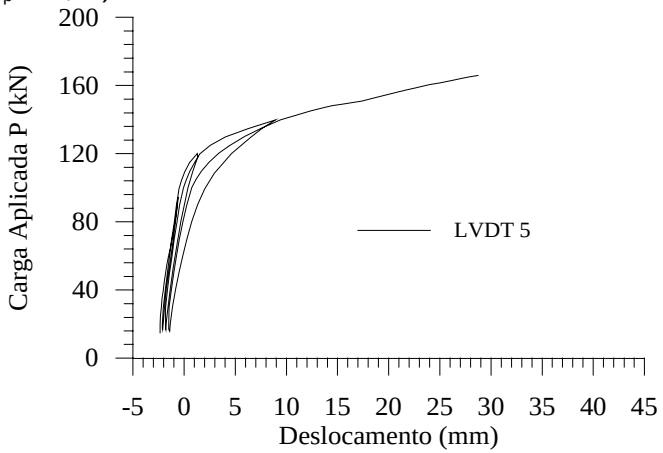

Figura C.100 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 5 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

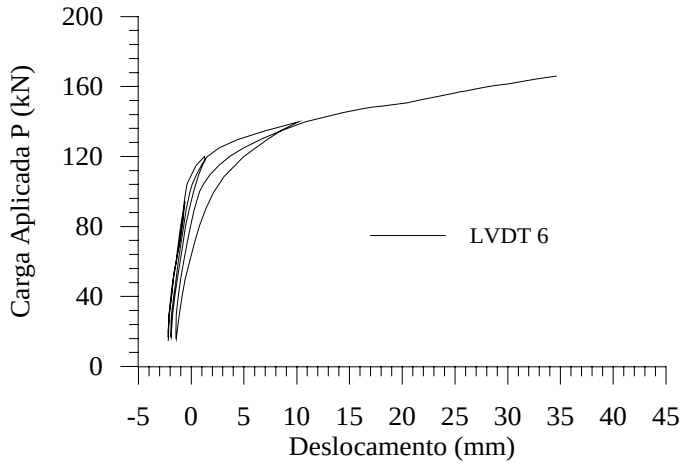

Figura C.101 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 6 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

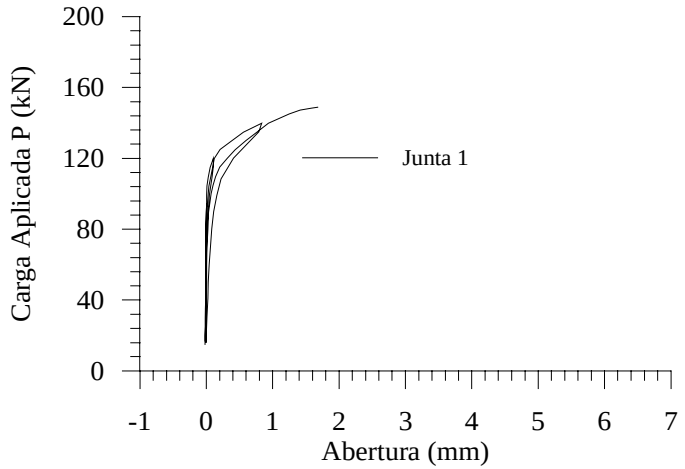

Figura C.102 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 1 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

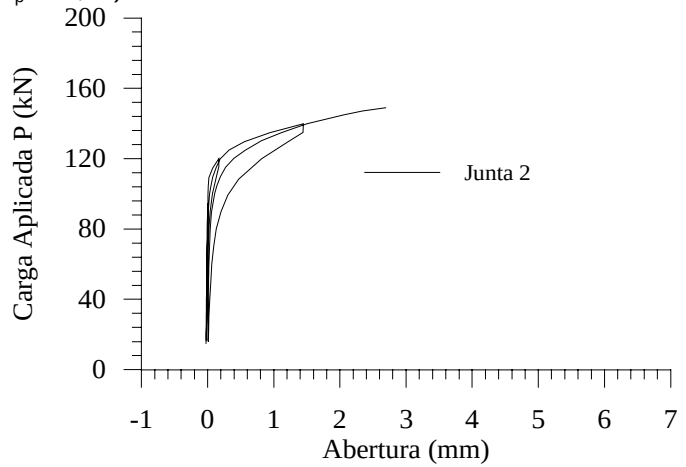

Figura C.103 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 2 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

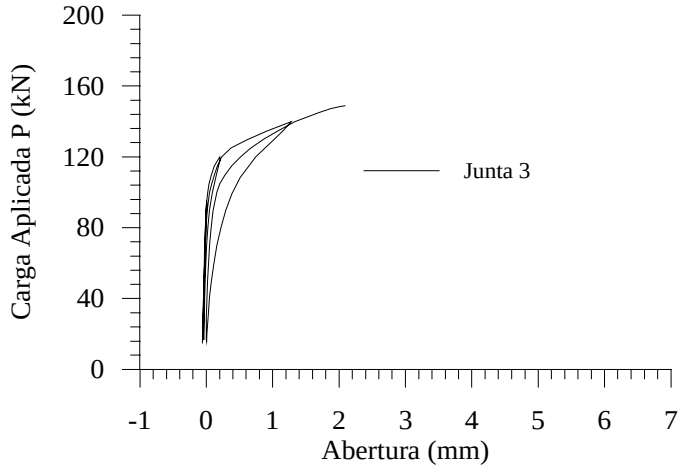

Figura C.104 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 3 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

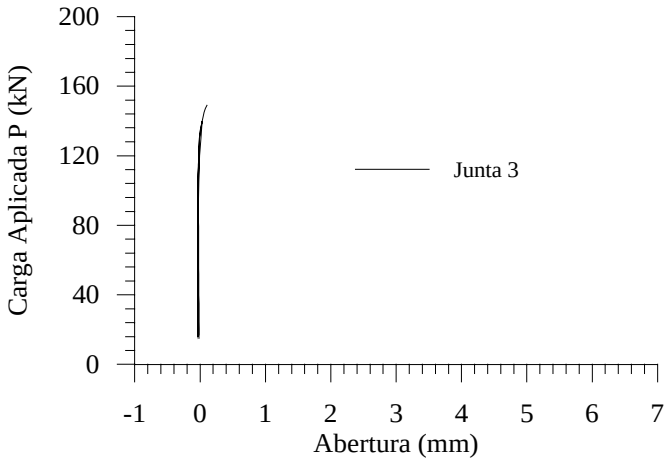

Figura C.105 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 3 (h/2) da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

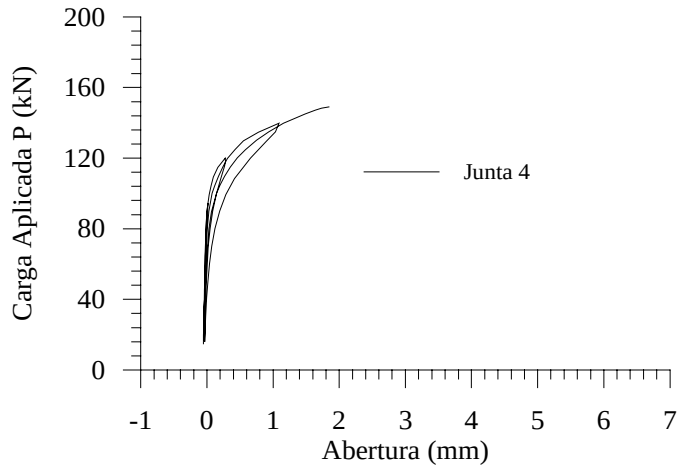

Figura C.106 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 4 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

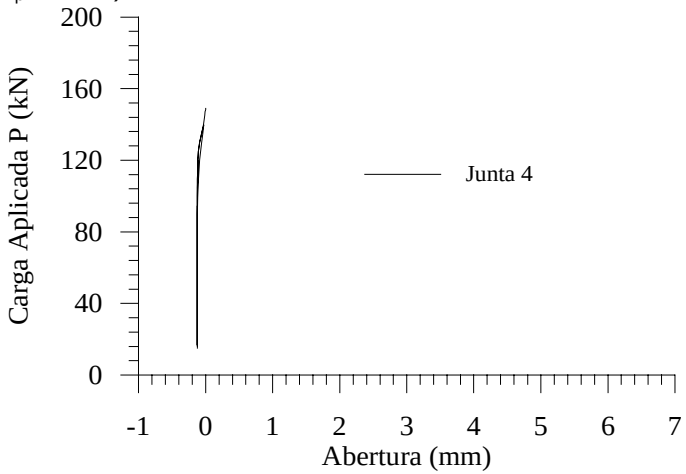

Figura C.107 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 4 (h/2)da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

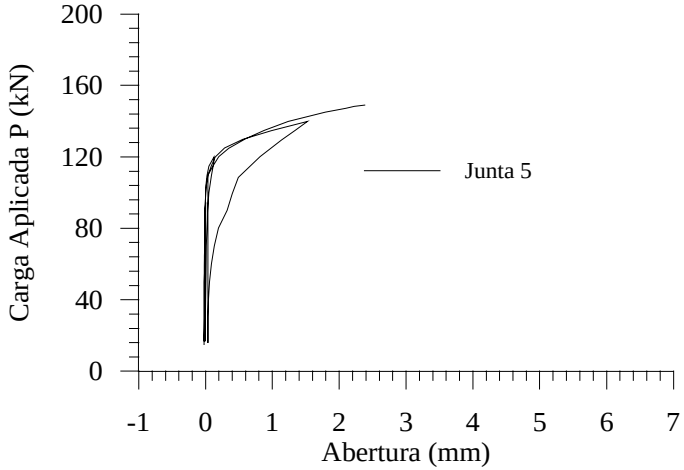

Figura C.108 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 5 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

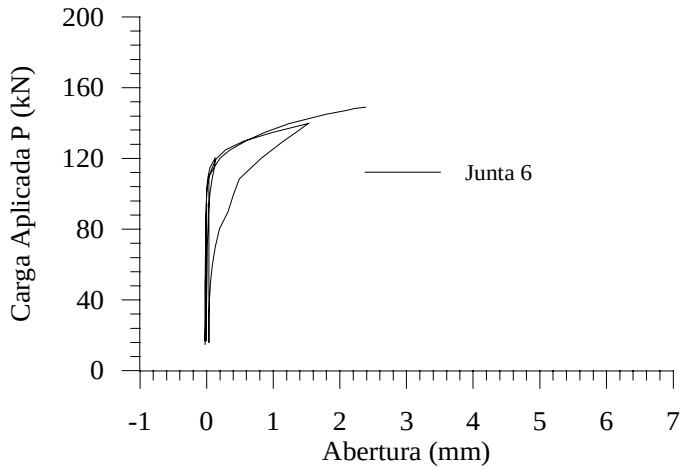

Figura C.109 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 6 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

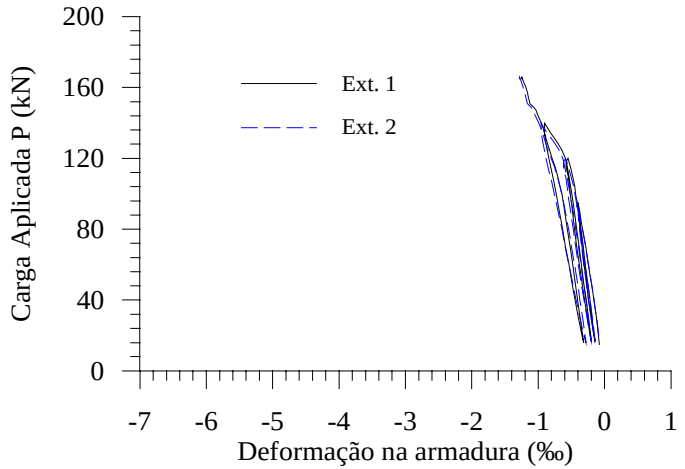

Figura C.110 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 1 e 2 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

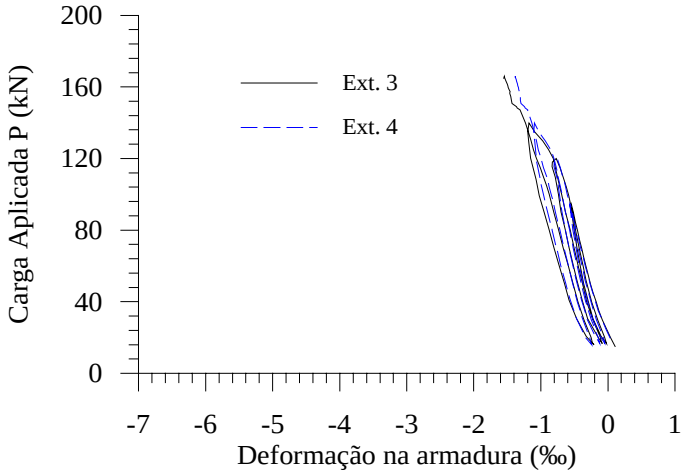

Figura C.111 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 3 e 4 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

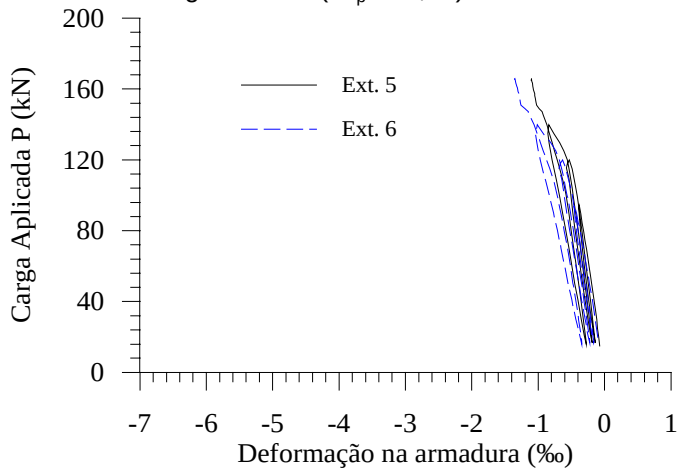

Figura C.112 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 5 e 6 da viga VGAH2 (l/d_p =18,75).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

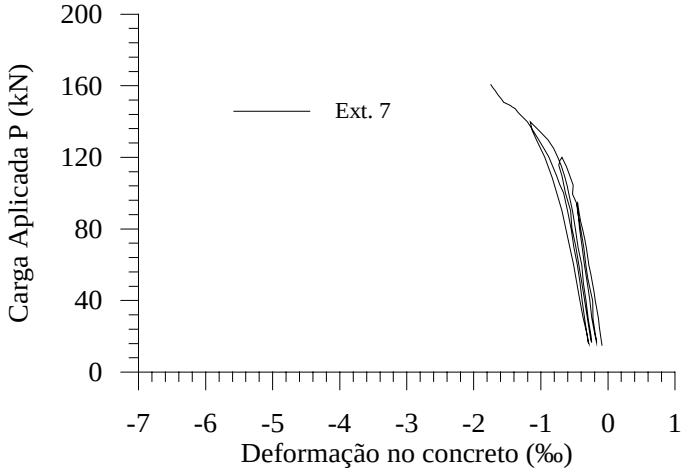

Figura C.113 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 7 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

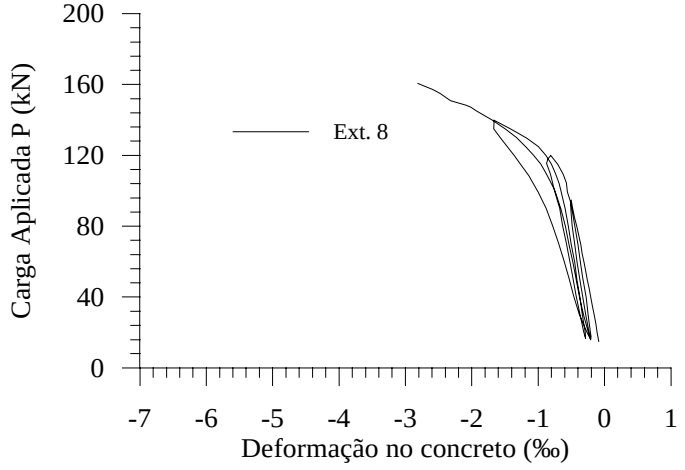

Figura C.114 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 8 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

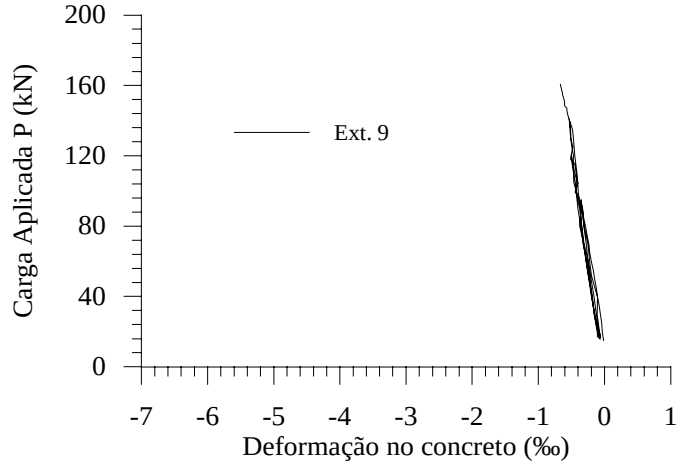

Figura C.115 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 9 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

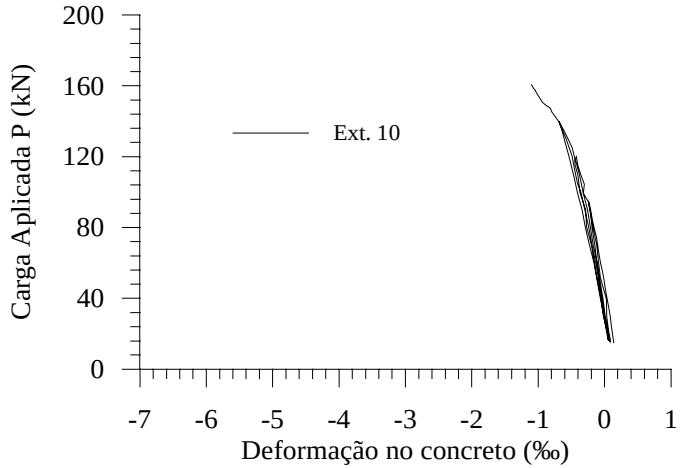

Figura C.116 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 10 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

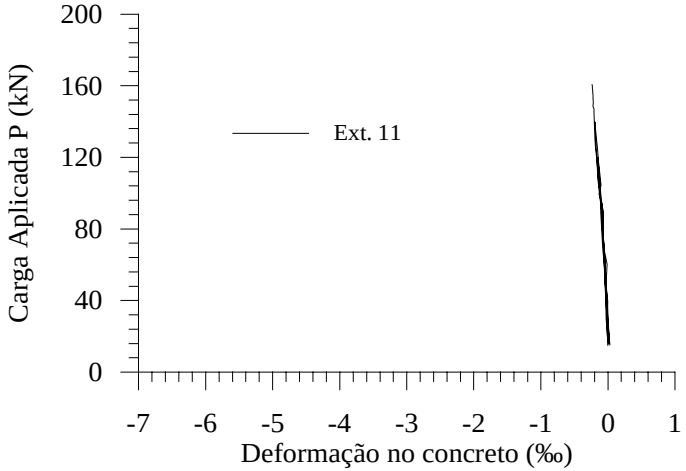

Figura C.117 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 11 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

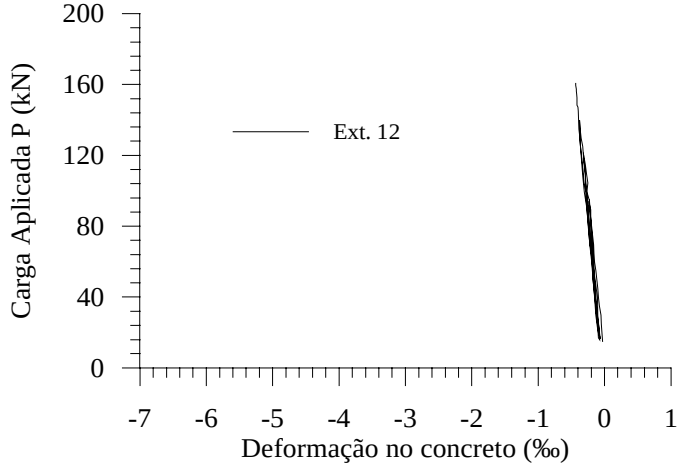

Figura C.118 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 12 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

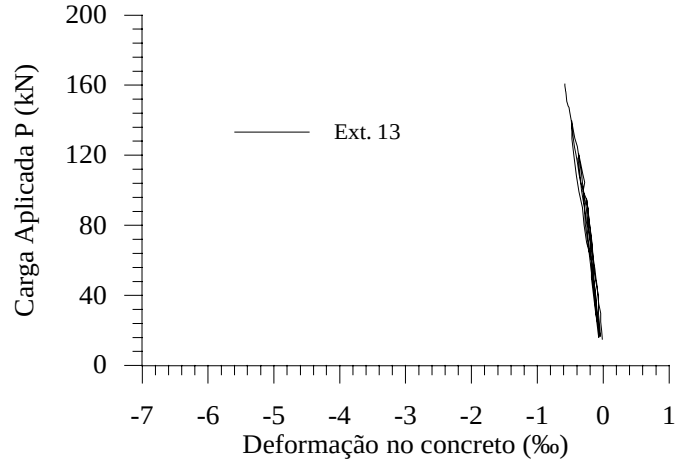

Figura C.119 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 13 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

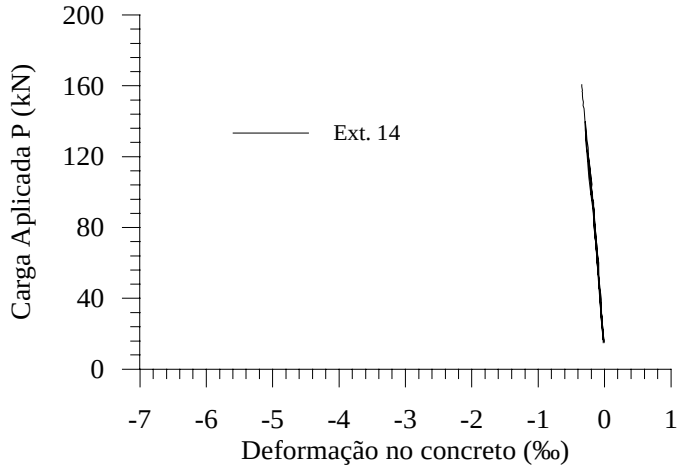

Figura C.120 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 14 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

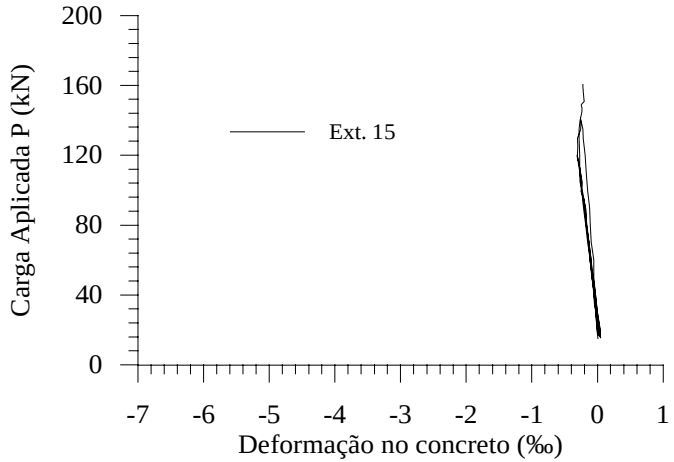

Figura C.121 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 15 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

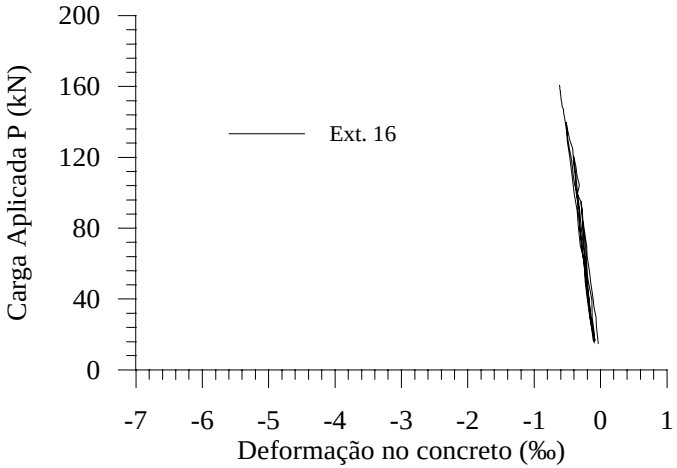

Figura C.122 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 16 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

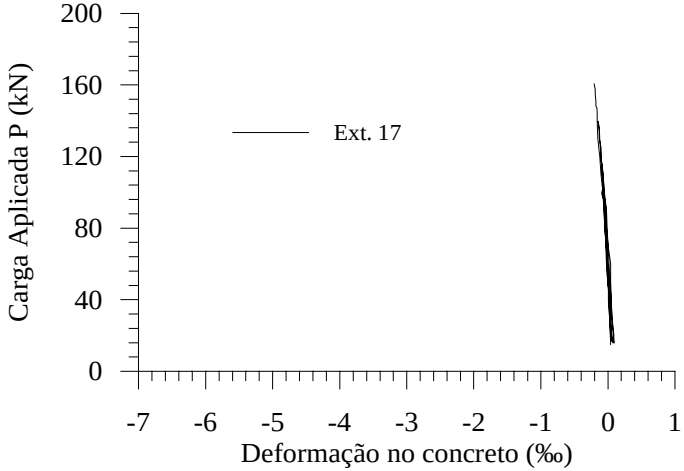

Figura C.123 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 17 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

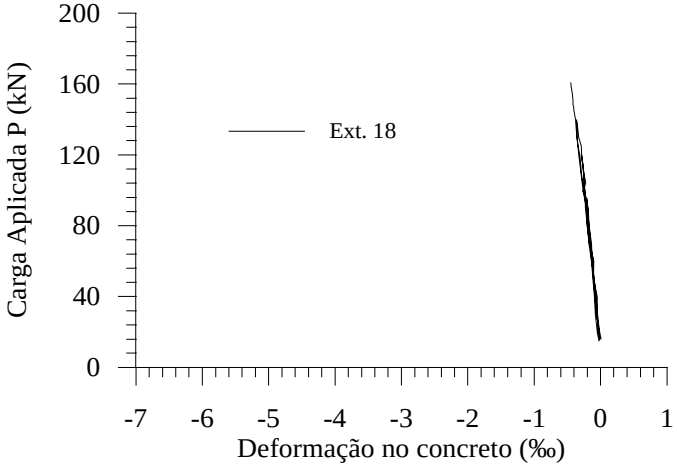

Figura C.124 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 18 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

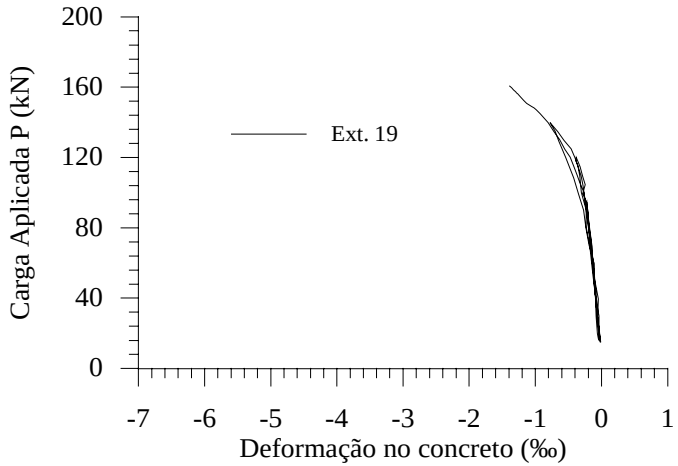

Figura C.125 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 19 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

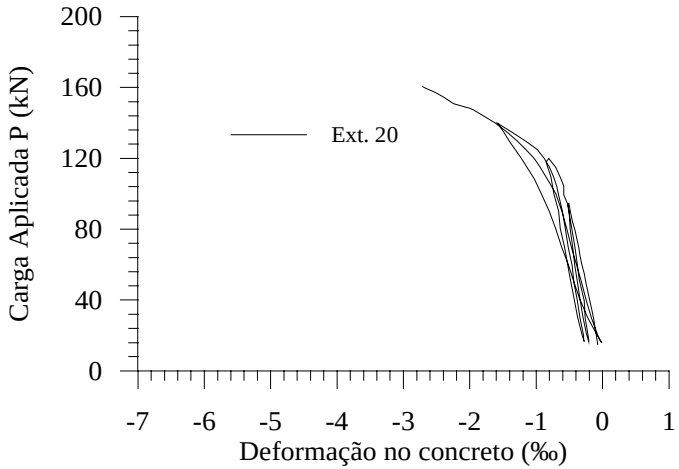

Figura C.126 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 20 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

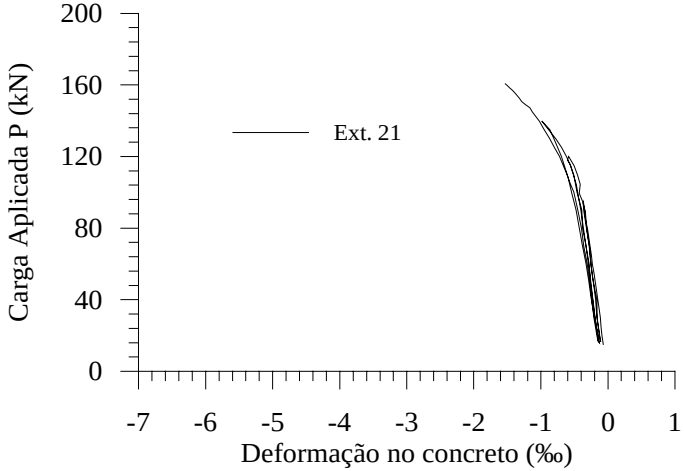

Figura C.127 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 21 da viga VGAH2 (l/dp =18,75).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

VGAH3

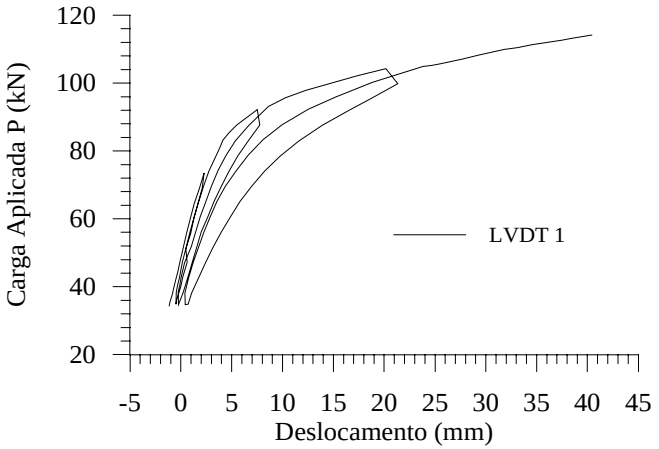

Figura C.128 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 1 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

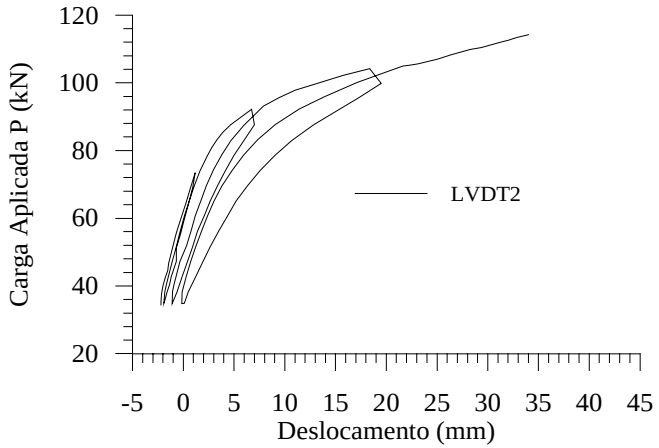

Figura C.129 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 2 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

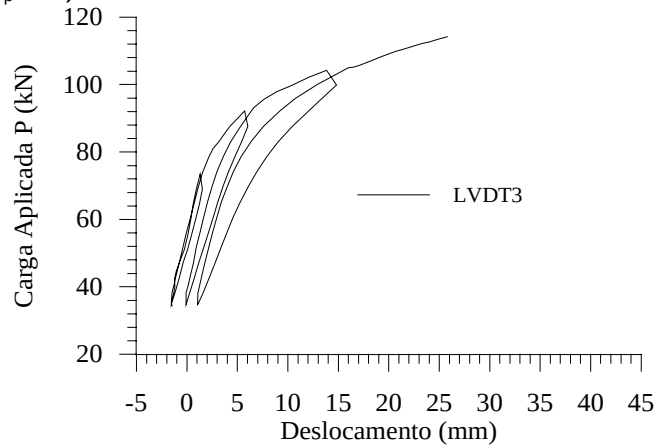

Figura C.130 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 3 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

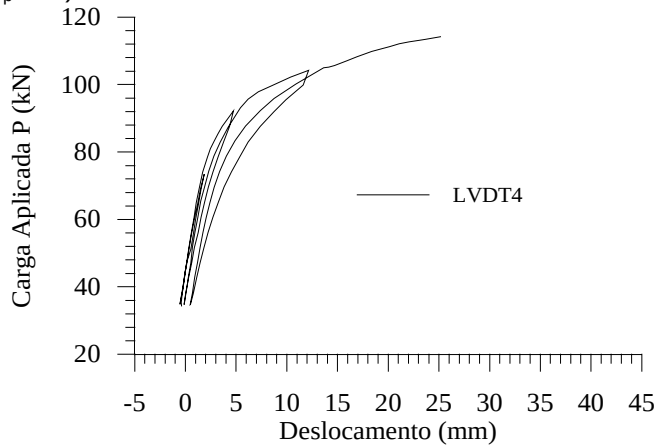

Figura C.131 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 4 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

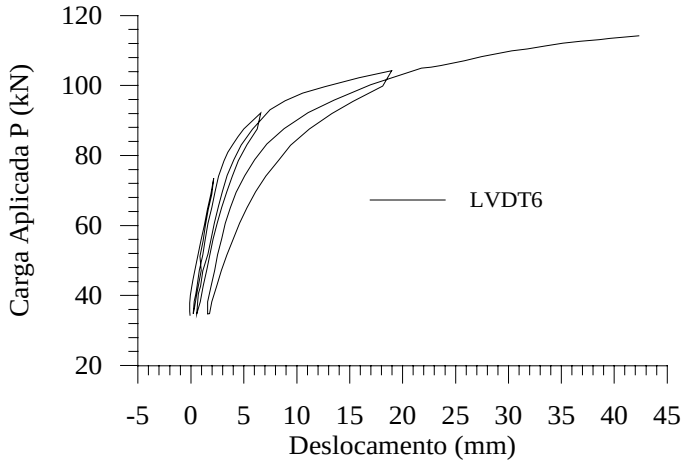

Figura C.132 - Curva carga aplicada vs. deslocamento do LVDT 6 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

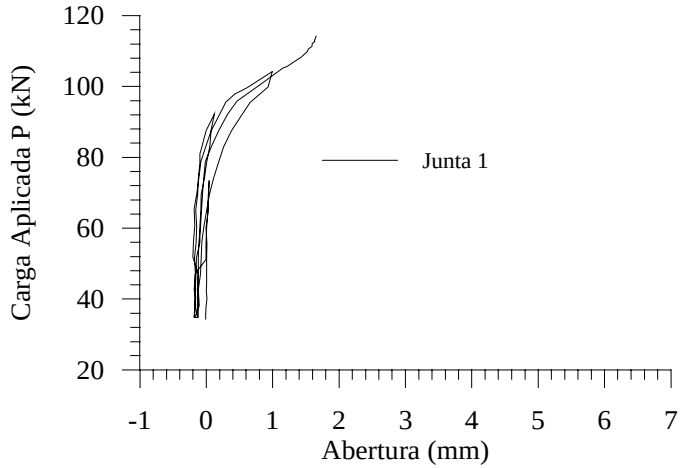

Figura C.133 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 1 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

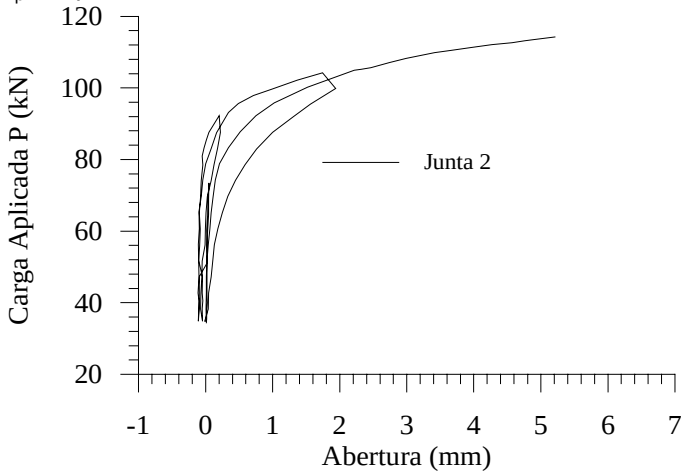

Figura C.134 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 2 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

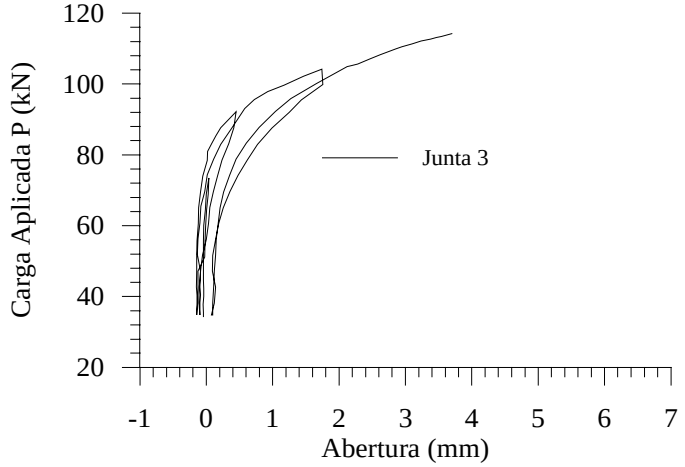

Figura C.135 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 3 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

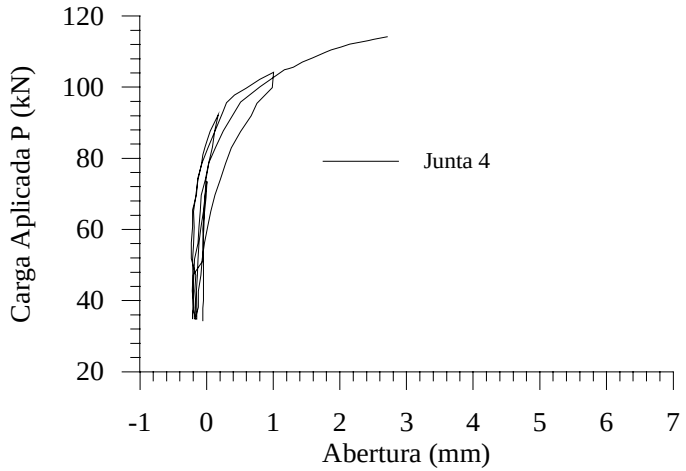

Figura C.136 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 4 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

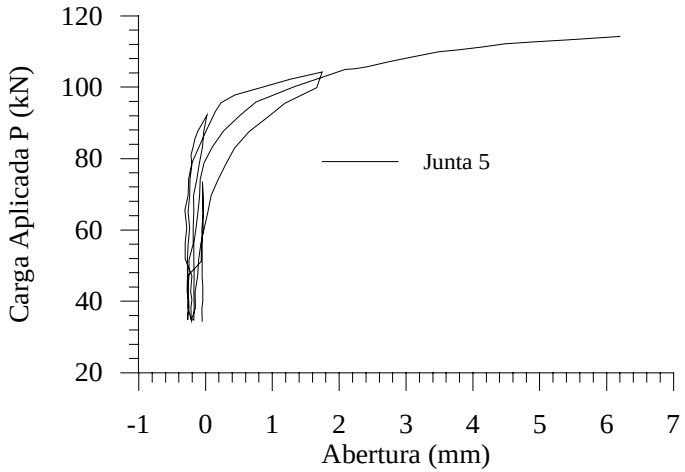

Figura C.137 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 5 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

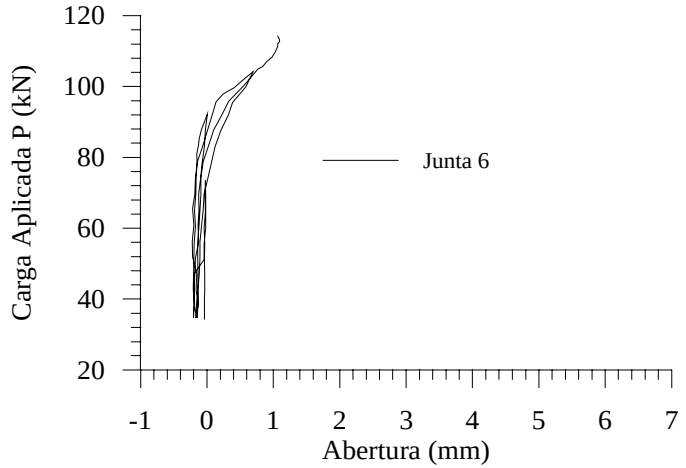

Figura C.138 - Curva carga aplicada vs. abertura na junta 6 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

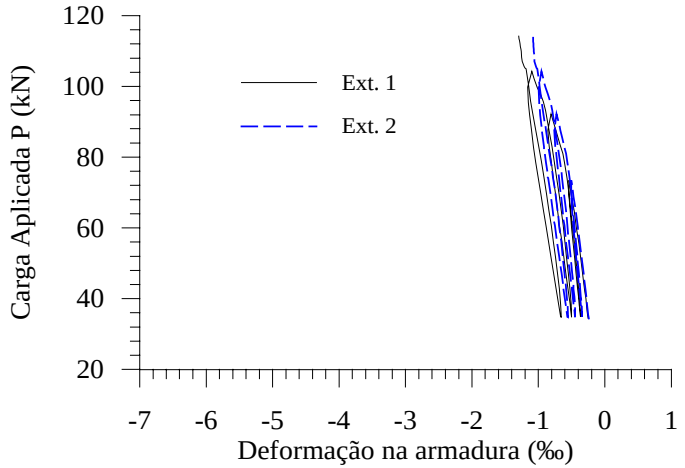

Figura C.139 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 1 e 2 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

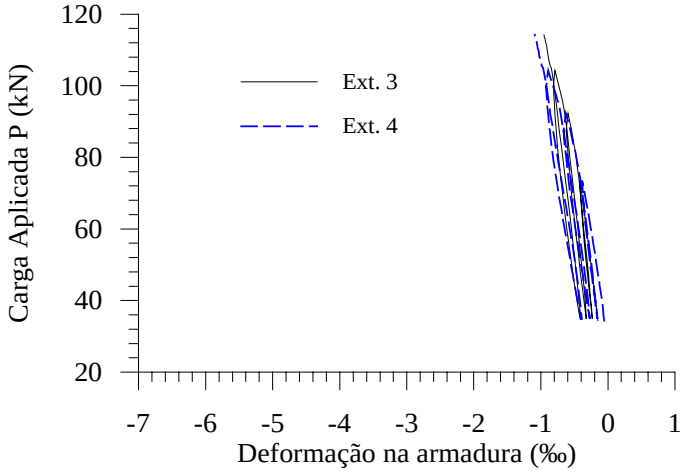

Figura C.140 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 3 e 4 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

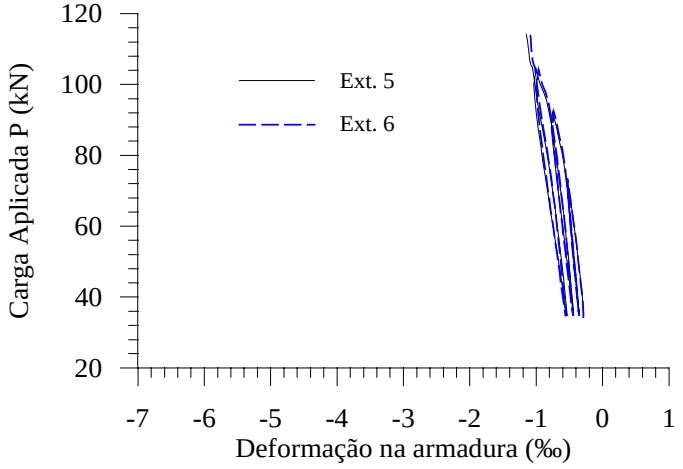

Figura C.141 - Curva carga aplicada vs. deformação na armadura passiva extensômetros 5 e 6 da viga VGAH3 (l/d_p =25).

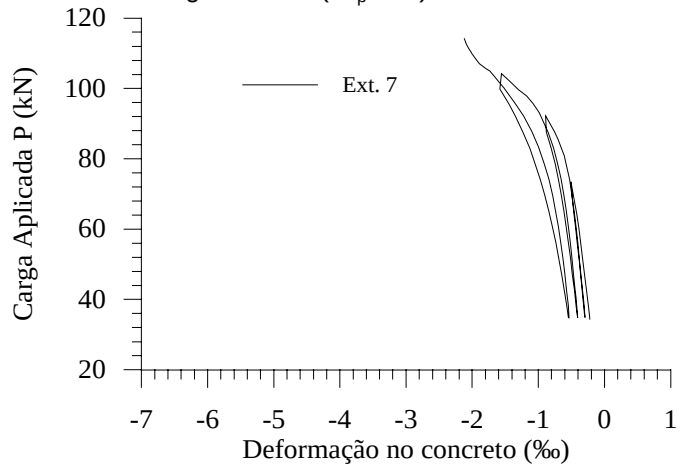

Figura C.142 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 7 da viga VGAH3 (l/dp =25).

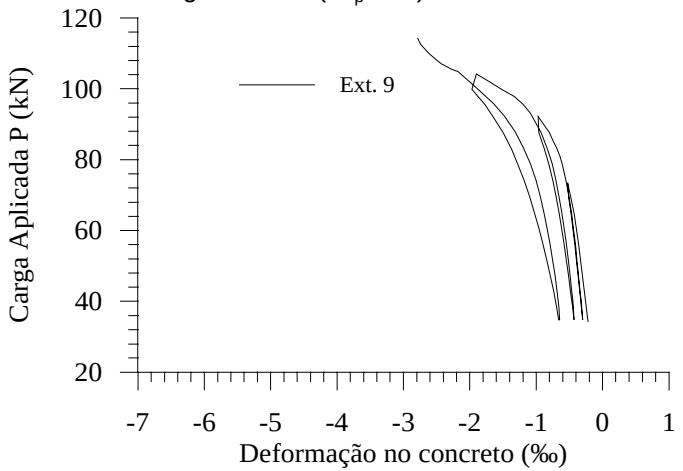

Figura C.144 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 9 da viga VGAH3 (l/dp =25).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

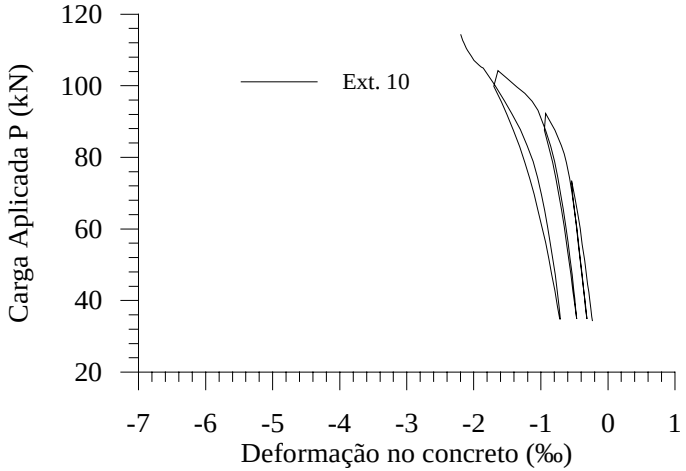

Figura C.145 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 10 da viga VGAH3 (l/dp =25).

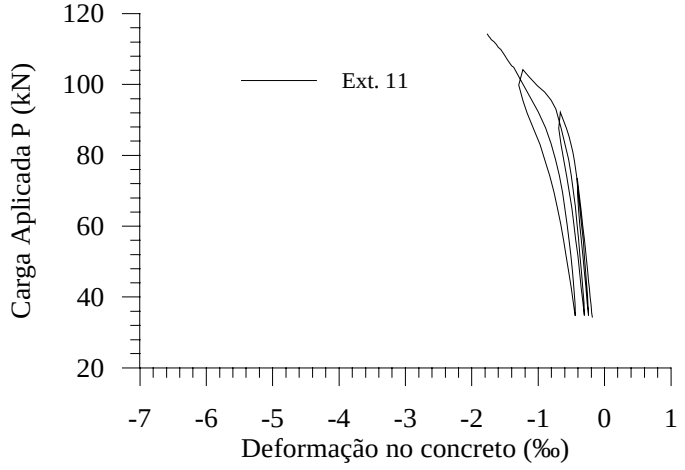

Figura C.146 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 11 da viga VGAH3 (l/dp =25).

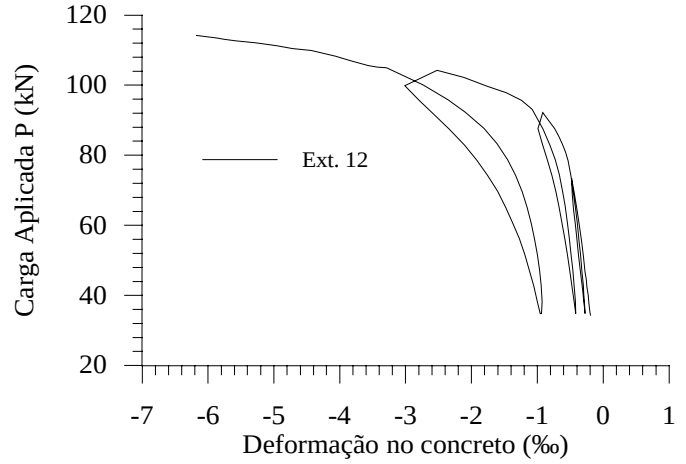

Figura C.147 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 12 da viga VGAH3 (l/dp =25).

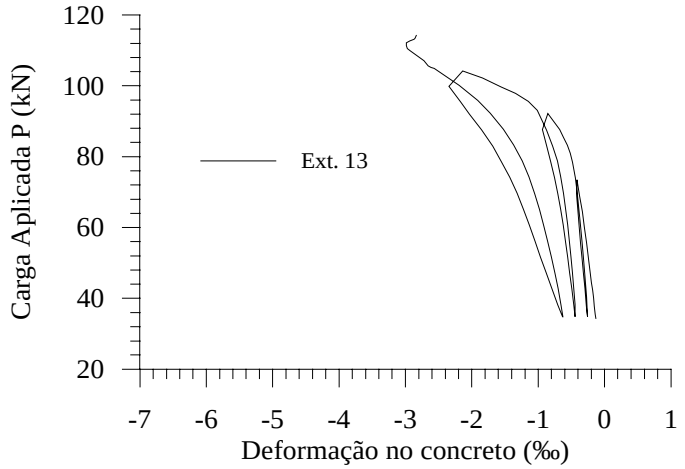

Figura C.148 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 13 da viga VGAH3 (l/dp =25).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

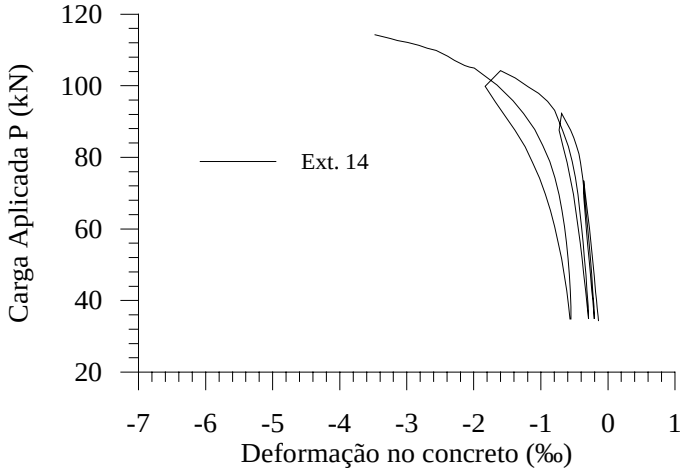

Figura C.149 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 14 da viga VGAH3 (l/dp =25).

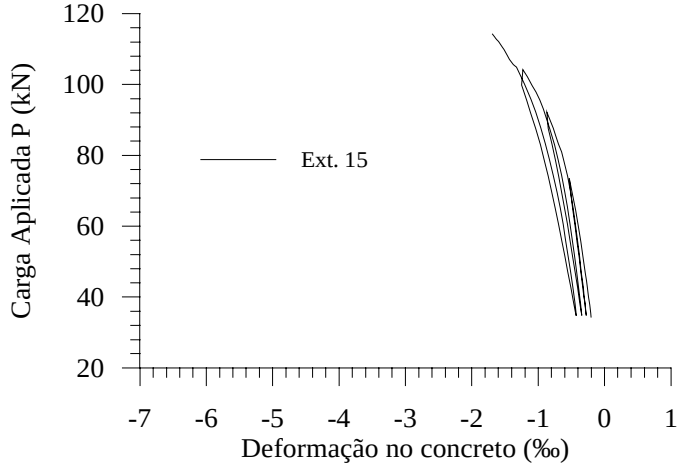

Figura C.150 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 15 da viga VGAH3 (l/dp =25).

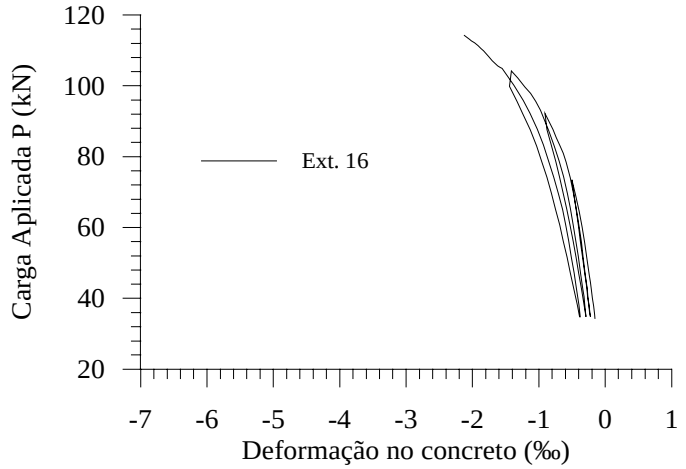

Figura C.151 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 16 da viga VGAH3 (l/dp =25).

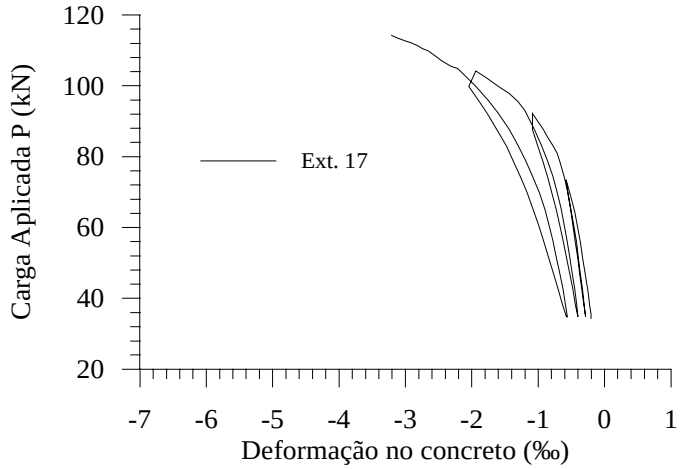

Figura C.152 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 17 da viga VGAH3 (l/dp =25).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

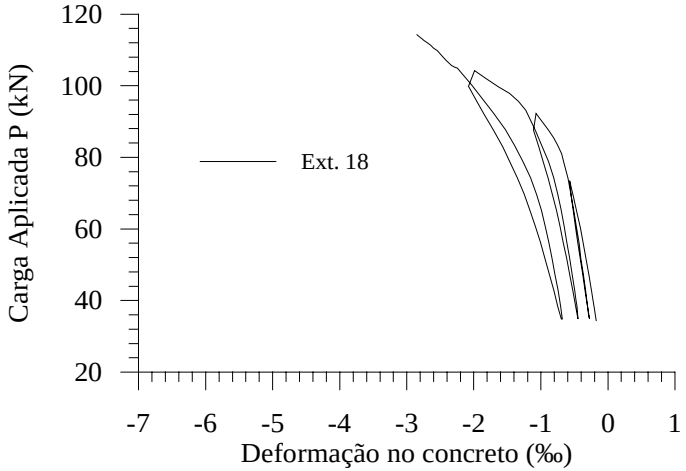

Figura C.153 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 18 da viga VGAH3 (l/dp =25).

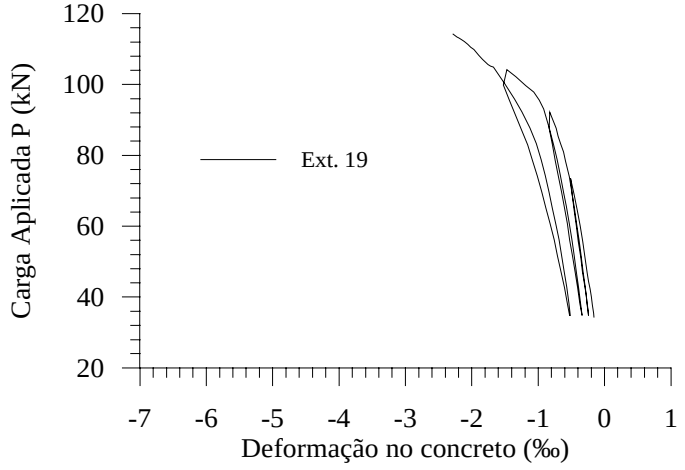

Figura C.154 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 19 da viga VGAH3 (l/dp =25).

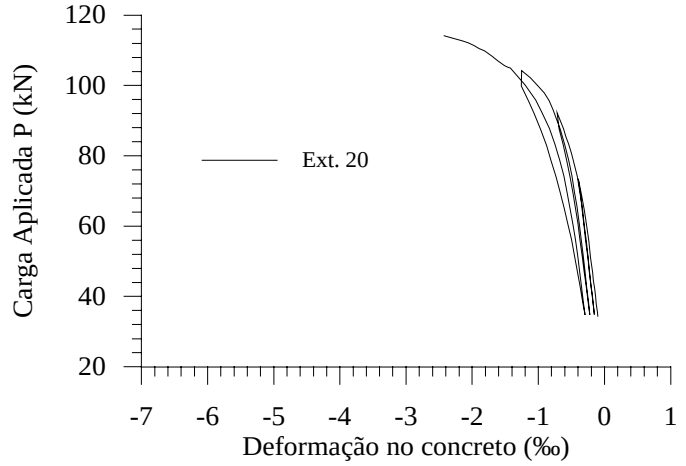

Figura C.155 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 20 da viga VGAH3 (l/dp =25).

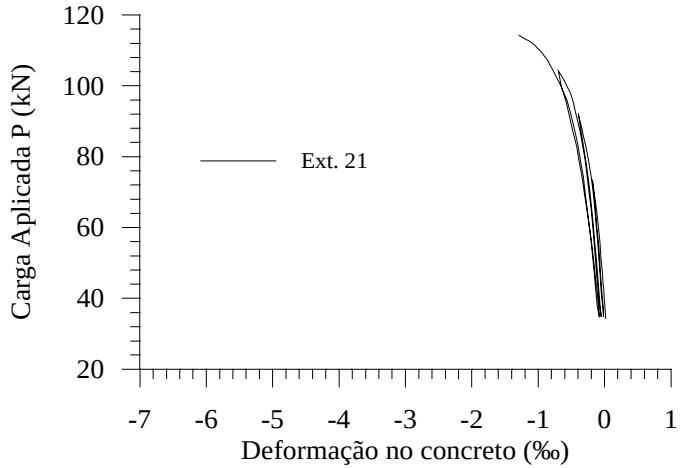

Figura C.156 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 21 da viga VGAH3 (l/dp =25).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

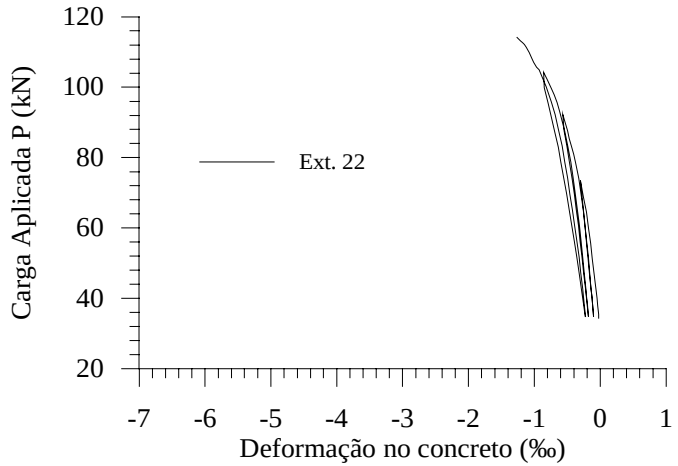

Figura C.157 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 22 da viga VGAH3 (l/dp =25).

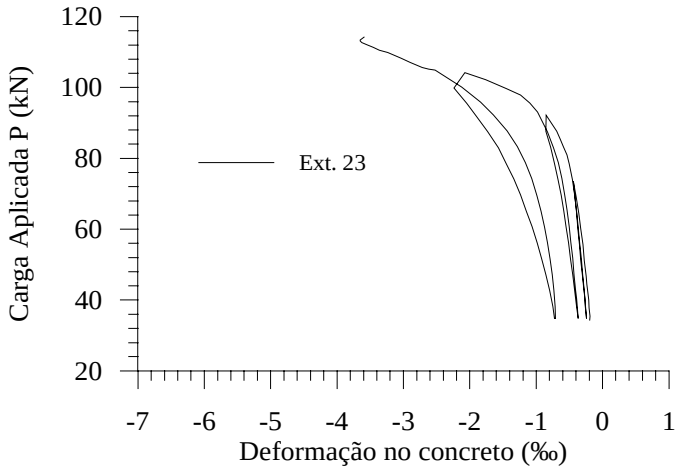

Figura C.158 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 23 da viga VGAH3 (l/dp =25).

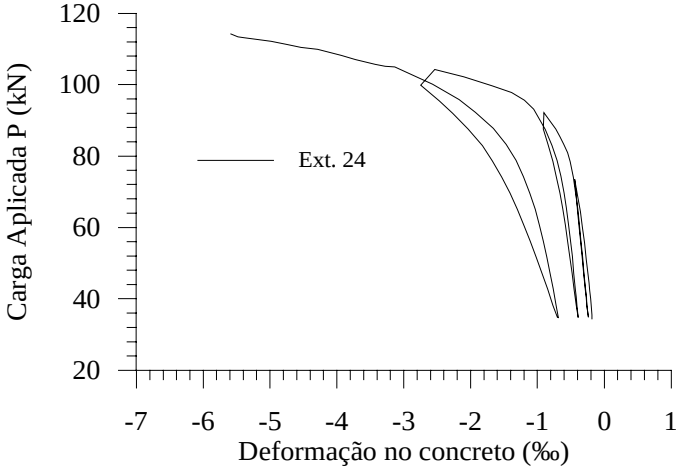

Figura C.159 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 24 da viga VGAH3 (l/dp =25).

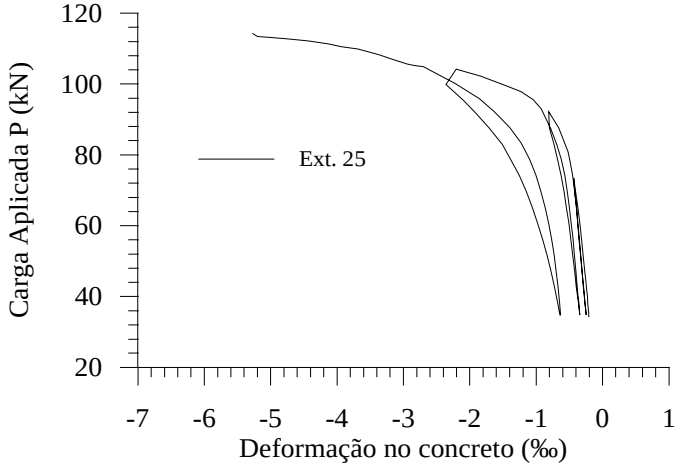

Figura C.160 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 25 da viga VGAH3 (l/dp =25).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

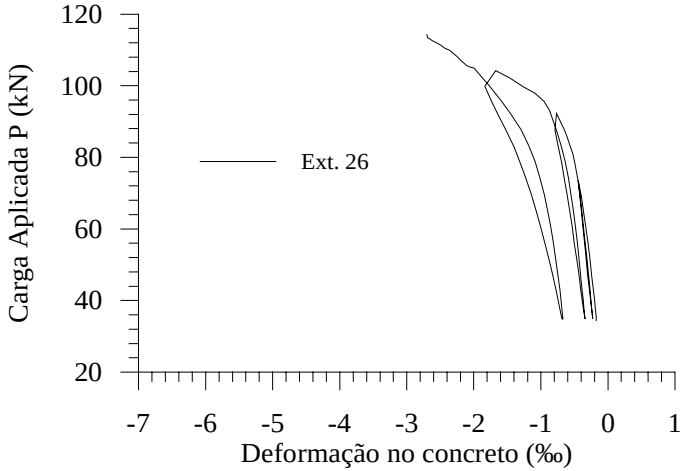

Figura C.161 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 26 da viga VGAH3 (l/dp =25).

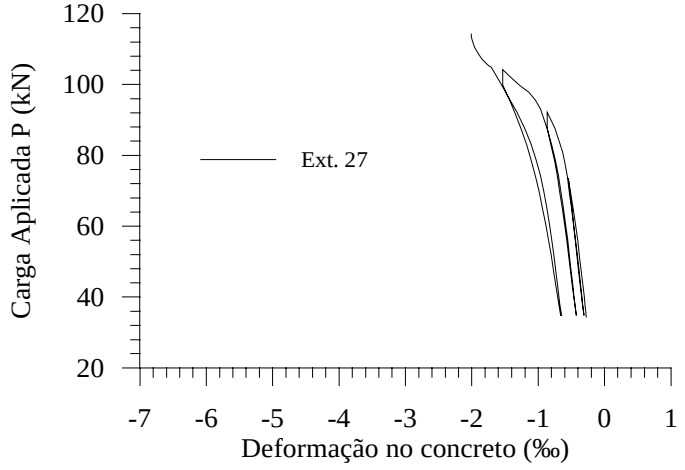

Figura C.162 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 27 da viga VGAH3 (l/dp =25).

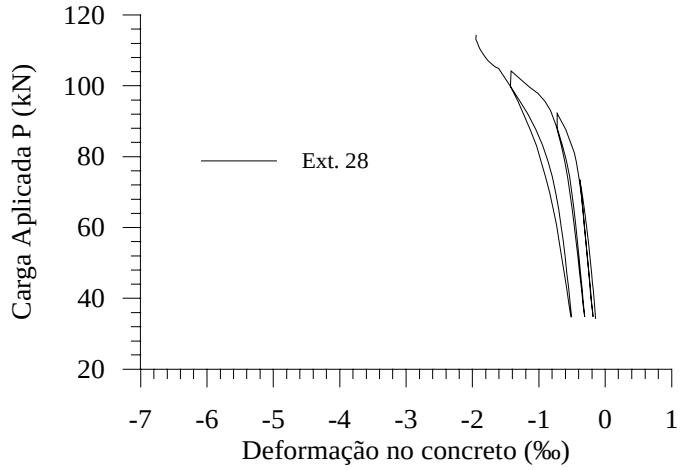

Figura C.163 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 28 da viga VGAH3 (l/dp =25).

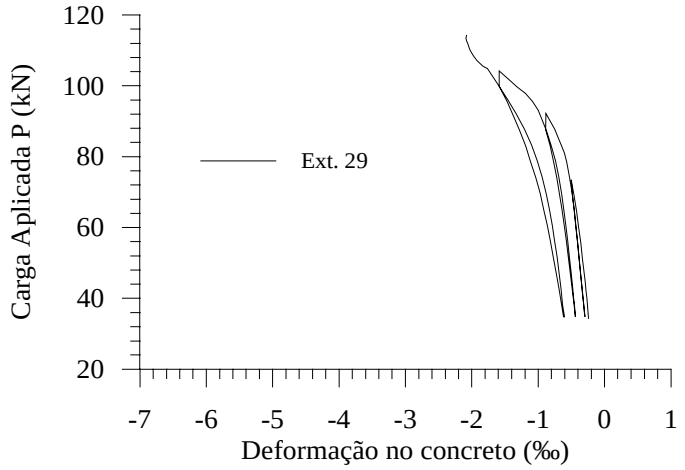

Figura C.164 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 29 da viga VGAH3 (l/dp =25).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA

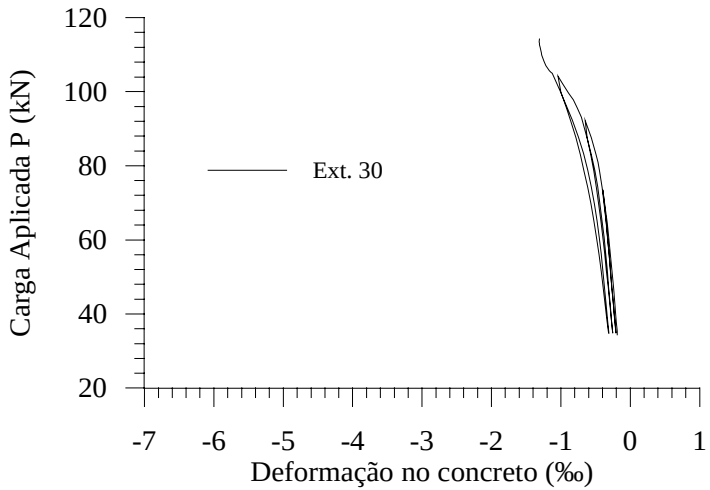

Figura C.165 - Curva carga aplicada vs. deformação no concreto extensômetro 30 da viga VGAH3 (l/dp =25).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 9716111/CA