



# ANÁLISE METROLÓGICA DA INFLUÊNCIA DA MICROSCOPIA ÓTICA SOBRE A DUREZA VICKERS DE MATERIAIS METÁLICOS<sup>1</sup>

Sérgio Pinheiro de Oliveira<sup>2</sup>

Jorge Trota Filho<sup>3</sup>

Renato Reis Machado<sup>4</sup>

Cláudio Afonso Koch<sup>5</sup>

Celso Ricardo da Silva Azeredo<sup>6</sup>

## Resumo

Este trabalho tem o objetivo de relacionar a influência do nível de iluminação do sistema de microscopia ótica sobre o valor medido de dureza Vickers de materiais metálicos. Os blocos-padrão metálicos de dureza Vickers selecionados tiveram os valores nominais de dureza de 129, 551 e 827 HV3, representando metais das escalas de dureza nas faixas de baixa, média e alta durezas, respectivamente. Para a realização dos ensaios com confiabilidade metrológica foi utilizada Máquina de Padronização Primária de Dureza do Inmetro (MPPD), máquina de medir dureza de referência do Brasil, onde podem ser realizadas calibrações das escalas de dureza Brinell, Rockwell e Vickers. Conclui-se que o nível de iluminação que é fornecido à imagem projetada pelo microscópio ótico é de fundamental importância para o cálculo de dureza Vickers. Assim, as medidas de dureza nas indústrias dos setores siderúrgico e metal-mecânico brasileiros terão a confiabilidade de suas medições assegurada nas suas linhas de produção, resultando em produtos metálicos produzidos com a máxima qualidade.

**Palavras-chave:** Dureza Vickers; Microscopia ótica; Materiais metálicos.

## METROLOGICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF OPTICAL MICROSCOPY ON THE VICKERS HARDNESS OF METALLIC MATERIALS

### Abstract

This work aims to relate the influence of illumination level of the system of optical microscopy on the measured value of Vickers hardness of metallic materials. The selected metallic Vickers standard hardness blocks selected had nominal hardness values of 129, 551 and 827 HV3, representing metals of hardness scales in the ranges of low, medium and high hardness, respectively. Metrological reliable tests were performed by using the INMETRO's Primary Hardness Standardization Machine (reference machine for measuring hardness in Brazil), where calibrations for Brinell, Rockwell and Vickers hardness scales are made. As a conclusion, the level of illumination provided to the image projected by the optical microscope is of fundamental importance for the calculation of Vickers hardness. So, the hardness measurements in the Brazilian industries of the steelworking and metal-mechanical sectors will have assured the reliability of the measurements in their production lines, yielding in the production of highest quality metallic products.

**Key words:** Vickers hardness; Optical microscopy; Metallic materials.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Doutor em Ciências, Diretoria de Metrologia Científica e Industrial, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro.

<sup>3</sup> Mestre em Ciências, Diretoria de Metrologia Científica e Industrial, Inmetro.

<sup>4</sup> Doutor em Ciências, Diretoria de Metrologia Científica e Industrial, Inmetro.

<sup>5</sup> Técnico em Mecânica, Diretoria de Metrologia Científica e Industrial, Inmetro.

<sup>6</sup> Técnico em Mecânica, Diretoria de Metrologia Científica e Industrial, Inmetro.



## 1 INTRODUÇÃO

A Dureza, definida como a resistência à deformação plástica permanente, ao risco ou à penetração de um material mais macio por outro mais duro, é a propriedade mecânica mais conhecida e disseminada. Isto se deve à sua importância essencial tanto na produção como no desempenho em serviço dos itens produzidos em praticamente todos os segmentos industriais – em especial os setores metal-mecânico, siderúrgico, metalúrgico e de máquinas e ferramentas. A medição de dureza é utilizada diversas vezes na linha de produção com o intuito de garantir a qualidade de diversos itens produzidos, amostragens no meio de processos produtivos e nos ensaios de recebimento de materiais. A medição da propriedade mecânica Dureza é a mais avaliada nas atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) empreendidas em universidades, centros de P&D e indústrias. Os resultados de dureza são também utilizados durante os projetos de desenvolvimento de novos materiais, produtos, processos, métodos e tecnologias inovadoras. As escalas de dureza por penetração mais utilizadas são a Brinell, a Vickers e a Rockwell.<sup>(1)</sup>

Os motivos supracitados fazem com que a grande maioria dos institutos nacionais de metrologia (INMs), que no Brasil é o INMETRO, possua uma estrutura e instalações laboratoriais específicas para lidar com a Metrologia de Dureza. A grandeza Dureza é também alvo de ações de normalização, com as normas internacionais expedidas pela ISO e pela ASTM, pelas normas brasileiras (ABNT/NBR) e regionais (Mercosul/NM), assim como a tradução do Guia de Calibração em Dureza<sup>(2)</sup> da Euramet (*European Association of National Metrology Institutes*), órgão ligado aos INMs da Europa, e que estabelece as práticas recomendadas para a obtenção da incerteza de medição em ensaios de dureza.

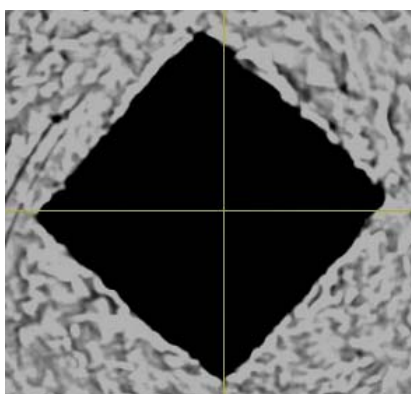
As informações contidas nos dois parágrafos anteriores destacam a importância da confiabilidade do resultado das medições, referenciada na metrologia como confiabilidade metrológica. Esta característica implica que através de processo de medição de referência todas as medições devem estar relacionadas a uma ou mais referências estabelecidas, ou seja, possuírem o que se denomina de rastreabilidade a padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações verticais ou cadeia de rastreabilidade<sup>(3)</sup> (Figura 1). Cada uma destas comparações possui, devido à aleatoriedade (variabilidade) inerente a qualquer medição (já que há várias causas para isso), as incertezas de medição calculadas (após ter todas as suas respectivas fontes/componentes de erro determinadas).

Se não houver hiatos na cadeia de rastreabilidade, as medições de dureza numa máquina de medir dureza (“durômetro”) instalada numa indústria qualquer fornecem resultados confiáveis e rastreáveis diretamente ao padrão primário de dureza de um determinado país (no Brasil, o padrão primário nacional é a MPPD do Inmetro) e indiretamente aos padrões internacionais de outros INMs com os quais o Inmetro se compara horizontalmente de maneira regular – seja sob a égide do BIPM (Bureau Internacional de Pesos e Medidas), seja sob o Sistema Interamericano de Metrologia (SIM) ou o Sistema Sul-Americano de Metrologia (SURAMET). Objetivamente, a confiabilidade metrológica é disseminada do nível primário (“Padrões Nacionais”) para os demais através da norma ABNT NBR ISO/IEC-17025<sup>(4)</sup> e de padrões rastreáveis de acordo com procedimentos de referência previstos nas normas de dureza internacionais pertinentes. E a padronização em dureza é feita em relação à profundidade de penetração, no caso da escala Rockwell, ou ao tamanho da impressão resultante, no caso das escalas Brinell (impressão circular) e Vickers (impressão quadrada).



**Figura 1.** Cadeia de rastreabilidade, que é válida para qualquer grandeza, incluindo Dureza, mostrando o interrelacionamento entre rastreabilidade, comparabilidade, disseminação da confiabilidade nas medições e incerteza de medição.<sup>(3)</sup>

O ensaio Vickers foi introduzido em 1925 por Smith e Sandland; o nome Vickers tem origem na Companhia Vickers-Armstrong Ltda., que fabricou as máquinas mais famosas para operar com este tipo de dureza. O penetrador é confeccionado na forma de uma pirâmide de diamante de base quadrada com ângulo de  $136^\circ$  entre as faces opostas. Esse ângulo é capaz de induzir valores de impressão semelhantes aos da dureza Brinell. Isto se deve ao fato de que a relação ideal  $d/D$  (onde “d” é o diâmetro da impressão e “D” é o diâmetro do penetrador esférico) da dureza Brinell é 0,375, sendo possível encontrar um ângulo de  $136^\circ$  entre tangentes que partem dos cantos da impressão Brinell para o caso de uma esfera que possua essa relação ideal.<sup>(1)</sup> A Figura 2 mostra a morfologia superficial de uma impressão de dureza Vickers típica obtida no laboratório de metrologia de dureza do Inmetro.



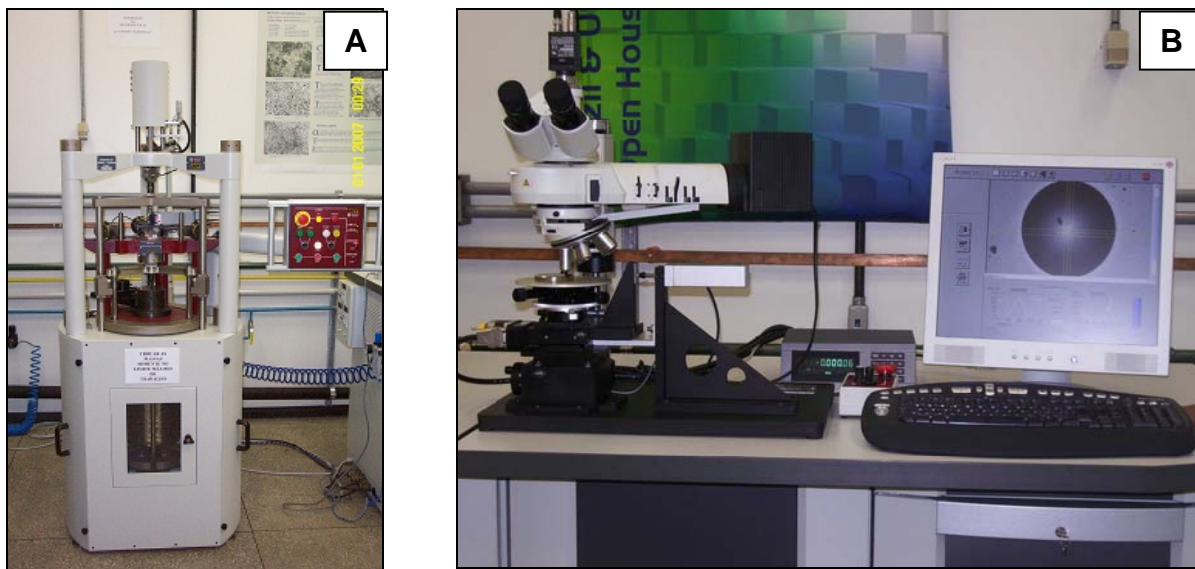
**Figura 2.** Morfologia superficial de uma impressão de dureza Vickers típica com 200x de aumento, observada em microscopia ótica no laboratório de metrologia de dureza do Inmetro.

Através da análise da Figura 2 é possível constatar que fatores como a qualidade de foco e a intensidade de iluminação utilizada pelo microscópio ótico durante as medições das diagonais da impressão influenciam diretamente o resultado da medição. Além disso, até mesmo a iluminação do ambiente onde o sistema de encontra pode afetar o resultado final de dureza.

Logo, este trabalho tem o objetivo de relacionar a influência do nível de iluminação do sistema de microscopia ótica, assim como a iluminação do ambiente laboratorial, sobre o valor de dureza Vickers de materiais metálicos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização das medições de dureza com confiabilidade metrológica foram utilizados os seguintes padrões metrológicos: “Máquina de Padronização Primária de Dureza” (MPPD), que permite a realização das escalas de dureza Brinell, Rockwell e Vickers (Figura 3A); e “Sistema de Referência Metrológica para as Escalas de Dureza Brinell e Vickers - Gal-Vision” (Figura 3B), onde foram desenvolvidos novos padrões de imagens para o seu sistema de análise de imagens. Isto permitiu a determinação dos diâmetros da impressão Vickers, de modo que as medições e calibrações de dureza possam ser realizadas com a maior qualidade metrológica.



**Figura 3.** Sistema Primário das Escalas de Dureza Rockwell, Brinell e Vickers do INMETRO: (A) Máquina de Padronização Primária de Dureza “MPPD”; (B) Sistema de Referência Metrológica para as Escalas de Dureza Brinell e Vickers “Gal-Vision”, utilizada para a determinação dos diâmetros e diagonais das escalas de dureza Brinell e Vickers, respectivamente.

No microscópio do sistema Gal-Vision foram utilizadas sequencialmente as objetivas de magnificação/abertura numérica 2,5x/0,07, 5x/0,12, 10x/0,25 e 20x/0,40 para o ajuste da impressão Vickers, possibilitando, assim, a medição das diagonais. A dureza Vickers é calculada de acordo com a equação 1<sup>(1,5)</sup>

$$HV = 0,102 \cdot \frac{2F \cdot \text{sen} 136^\circ}{d^2} \quad \text{equação (1)}$$

onde: HV – é o valor de dureza Vickers;

F – é a força nominal do ensaio em newtons;

d – é a média aritmética das duas diagonais em milímetros.

Para analisar a influência da quantidade de iluminação sobre os resultados nas faixas de baixa, média e alta dureza foram utilizados blocos-padrão de dureza de

129 HV3, 551 HV3 e 827 HV3, respectivamente. Além disso, foram realizadas medições das diagonais ora com as luzes do laboratório ligadas ora desligadas. Foram também utilizados durante as medições incrementos de iluminação do sistema de microscopia ótica do Gal-Vision que variavam de 1 (intensidade de iluminação zero) a 7 (intensidade de iluminação máxima).

Os blocos de referência de dureza sob ensaio foram colocados na mesa de desempenho do padrão de dureza MPPD, sendo os mesmos previamente limpos com álcool isopropílico PA, tanto na face de medição como na base do bloco.

Neste trabalho foram utilizadas as normas de dureza internacionais ABNT NBR NM ISO 6507-2:2008<sup>(6)</sup> e 6507-3:2008,<sup>(7)</sup> que fornecem os mais importantes parâmetros do processo de medição que influenciam diretamente no resultado da calibração de blocos de dureza Vickers.

Para os cálculos das incertezas relativas ao diâmetro médio das impressões nas faixas de baixa, média e alta dureza Vickers, foram considerados os seguintes parâmetros: os valores das diagonais das impressões, a luminosidade do sistema ótico, a luminosidade do ambiente e os valores de dureza Vickers obtidos a partir dos ensaios.<sup>(8)</sup>

### 3 RESULTADOS

A Tabela 1 mostra a influência do incremento de iluminação do sistema ótico do Gal-Vision em relação às medições das diagonais das impressões Vickers realizadas sobre o bloco-padrão de 129 HV3; estas medidas foram realizadas com as luzes do laboratório ligadas. São apresentados a dureza de referência (dureza nominal do bloco-padrão de dureza utilizado), a dureza medida com o conjunto MPPD+Gal-Vision e o erro percentual (erro %).

**Tabela 1.** Influência da iluminação do sistema Gal-Vision sobre os valores de dureza Vickers do bloco 129 HV3 (Iluminação do laboratório - ligada)

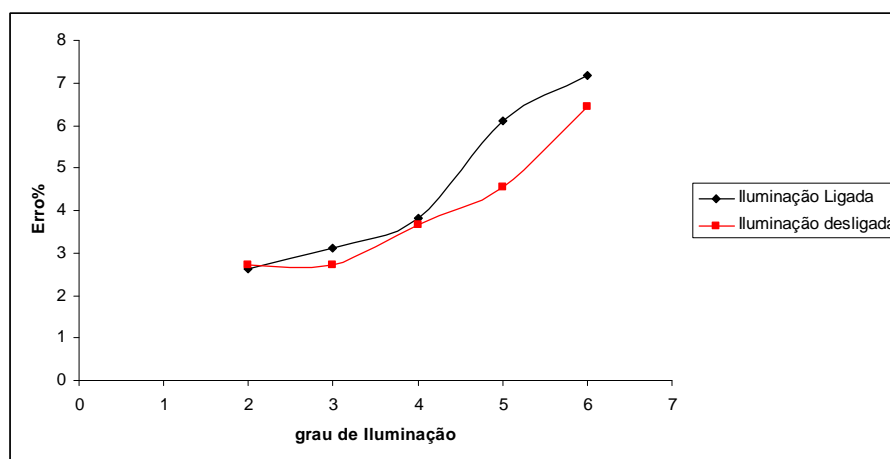
Incremento de iluminação do Gal-Vision	Dureza de referência	Dureza Medida	Erro %
1	129	sem leitura	-
2	129	131,83	2,61
3	129	131,74	3,11
4	129	133,15	3,83
5	129	136,87	6,10
6	129	138,24	7,16
7	129	sem leitura	-

Da mesma forma, na Tabela 2 são apresentados para o bloco-padrão de baixa dureza os resultados das medições das diagonais variando-se o incremento de iluminação do sistema ótico do Gal-Vision; porém, neste caso as luzes do laboratório permaneceram desligadas.

**Tabela 2.** Influência da iluminação do sistema Gal-Vision sobre os valores de dureza Vickers do bloco 129 HV3 (Iluminação do laboratório - desligada)

Incremento de iluminação do Gal-Vision	Dureza de referência	Dureza Medida	Erro %
1	129	sem leitura	-
2	129	132,12	2,70
3	129	132,47	2,73
4	129	133,16	3,68
5	129	134,86	4,55
6	129	137,31	6,44
7	129	sem leitura	-

A Figura 4 mostra os erros percentuais – em relação ao valor de referência do bloco-padrão de baixa dureza, ou seja, 129 HV3 – em função da intensidade de iluminação do sistema Gal-Vision, tanto com a iluminação do laboratório ligada quanto desligada.



**Figura 4.** Erro percentual em função do grau de iluminação do sistema metrológico de medição Gal-Vision para o bloco-padrão de baixa dureza.

Através da observação da Figura 4 é possível observar que embora o grau de iluminação do sistema ótico do Gal-Vision influencie de forma menos acentuada quando a iluminação do laboratório está desligada, o menor erro percentual é encontrado quando se utiliza no sistema ótico o grau de iluminação "2" e a iluminação do laboratório é mantida ligada.

Os resultados relativos à influência do incremento de iluminação do sistema ótico sobre os valores de dureza do bloco-padrão de média dureza, ou seja, 551 HV3, são apresentados nas Tabelas 3 e 4, onde também leva-se em conta o fato da iluminação do laboratório estar ligada ou desligada, respectivamente.

**Tabela 3.** Influência da iluminação do sistema Gal-Vision sobre os valores de dureza Vickers do bloco 551 HV3 (Iluminação do laboratório - ligada)

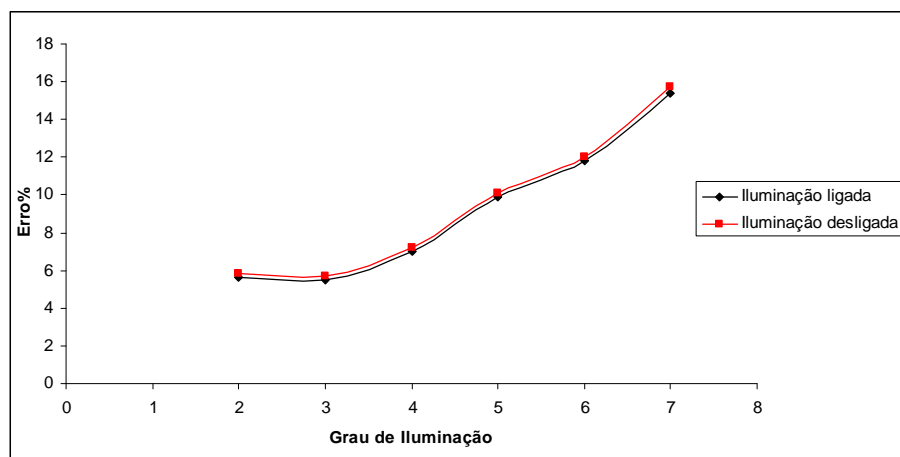
Incremento de iluminação do Gal-Vision	Dureza de referência	Dureza Medida	Erro %
1	551	sem leitura	-
2	551	582,08	5,64
3	551	581,45	5,53
4	551	589,56	7,00
5	551	605,60	9,91
6	551	616,23	11,84
7	551	635,62	15,36

**Tabela 4.** Influência da iluminação do sistema Gal-Vision sobre os valores de dureza Vickers do bloco 551 HV3 (Iluminação do laboratório - desligada)

Incremento de iluminação do Gal-Vision	Dureza de referência	Dureza Medida	Erro %
1	551	sem leitura	-
2	551	583,22	5,85
3	551	582,39	5,70
4	551	590,56	7,18
5	551	606,68	10,10
6	551	617,21	12,02
7	551	637,71	15,74

Através da Figura 5 observa-se a evolução do erro percentual em função do grau de iluminação, o qual também está relacionado à iluminação do laboratório, para a medição de dureza do bloco-padrão de valor nominal 551 HV3.

A Figura 5 apresenta um comportamento diferente daquele que é mostrado na Figura 4, ou seja, em todos os graus de iluminação os erros percentuais calculados quando a iluminação do laboratório estava ligada se apresentaram menores do que quando a iluminação do laboratório estava desligada.



**Figura 5.** Erro percentual em função do grau de iluminação do sistema metrológico de medição Gal-Vision para o bloco-padrão de média dureza.

Em relação aos bloco-padrão de alta dureza 827 HV3, as Tabelas 5 e 6 mostram os resultados da influência dos incrementos de iluminação do sistema ótico e ainda levam em consideração se a iluminação do laboratório estava ligada ou desligada, respectivamente, no momento em que ocorreram as calibrações.

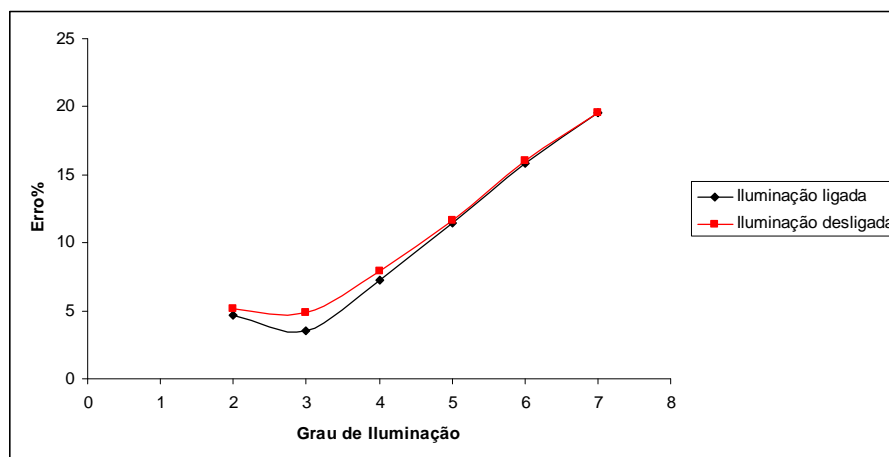
**Tabela 5.** Influência da iluminação do sistema Gal-Vision sobre os valores de dureza Vickers do bloco 827 HV3 (Iluminação do laboratório - ligada)

Incremento de iluminação do Gal-Vision	Dureza de referência	Dureza Medida	Erro %
1	827	sem leitura	-
2	827	865,41	4,64
3	827	856,39	3,55
4	827	887,30	7,29
5	827	921,82	11,47
6	827	958,10	15,85
7	827	988,97	19,59

**Tabela 6.** Influência da iluminação do sistema Gal-Vision sobre os valores de dureza Vickers do bloco 827 HV3 (Iluminação do laboratório - desligada)

Incremento de iluminação do Gal-Vision	Dureza de referência	Dureza Medida	Erro %
1	827	sem leitura	-
2	827	870,01	5,20
3	827	866,98	4,83
4	827	892,34	7,90
5	827	923,33	11,65
6	827	959,70	16,05
7	827	988,41	19,52

Analisando a Figura 6 abaixo, observa-se a evolução do erro percentual da medição do bloco-padrão de dureza nominal de 827 HV3 em função do grau de iluminação e do fato da iluminação do laboratório estar ligada ou não.



**Figura 6.** Erro percentual em função do grau de iluminação do sistema metrológico de medição Gal-Vision para o bloco-padrão de alta dureza.

As Figuras 4, 5 e 6 possuem uma tendência semelhante, onde o erro percentual cresce de forma acentuada com o aumento gradativo do grau de incremento de iluminação do sistema ótico do Gal-Vision.

#### 4 DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 a 6 (coluna “Dureza Medida”) e Figuras 4 a 6, nota-se uma ausência de resultados de medição quando o incremento de iluminação foi ajustado para



grau “1”, independente da luz do laboratório estar ligada ou desligada. Isso decorre do fato de não haver iluminação, pois o “1” significa “intensidade de iluminação zero”. A expressão “sem leitura” nas tabelas citadas representa este fenômeno.

Para o caso de baixa dureza, as Tabelas 1 e 2 (coluna “Dureza Medida”) e a Figura 4 mostram que para o incremento de iluminação de grau “7” também não foi possível fazer medidas. Donde a existência da expressão “sem leitura” nas tabelas mencionadas. A razão para isso foi o tamanho relativamente grande que é característico das impressões de baixa dureza – e, conseqüentemente, com a localização das extremidades das impressões nas proximidades da máxima área de análise do sistema ótico do Gal-Vision –, levando o excesso de iluminação inerente do grau “7” a não fornecer contraste suficiente para a leitura das diagonais da impressão Vickers.

Devido ao fato da impressão de dureza ser maior para dureza baixa, a Figura 4 mostrou maior divergência nos resultados em função das condições de iluminação do laboratório (isto é, ligado e desligado) do que no caso de dureza média (Figura 5) e alta (Figura 6). Isto é motivado pelo fato da condição “desligado” favorecer o aumento de contraste à medida que o grau de incremento de iluminação cresce. Outro aspecto a corroborar este comportamento é que na Figura 4 a curva “desligada” tem melhor correlação linear do que a curva “ligada”, ao contrário das curvas das Figuras 5 e 6, cujos pontos (das condições “ligada” e “desligada”) possuem aproximadamente o mesmo tipo de comportamento.

Há outro aspecto que merece ser discutido. Nas Figuras 4, 5 e 6 nota-se que a variabilidade de erro percentual (diferença entre o maior e o menor erro percentual) em função do incremento de iluminação (de “1” a “7”) aumenta conforme o aumento da dureza do bloco-padrão de dureza utilizado. A explicação para isso está relacionada à área do bloco ocupada pela impressão de dureza. Se o material tem uma impressão pequena (típico de materiais de alta dureza), isto significa que o resultado de dureza retrata a característica pontual da superfície do material do bloco de dureza. Por outro lado, se a impressão for relativamente grande (tipicamente materiais de menor dureza), se esperaria que o resultado apresentasse menor variabilidade porque demonstra uma característica mais global da superfície do bloco de dureza. Daí decorre que a variabilidade do erro percentual é de cerca de 4% para baixa dureza (Figura 4), 10% para média dureza (Figura 5) e 15% para alta dureza (Figura 6).

Diante dos resultados apresentados, observa-se que no caso da análise da influência do incremento de iluminação sobre o resultado de medição do bloco de baixa dureza Vickers HV3, o grau de iluminação metrologicamente adequado do sistema ótico do Gal-Vision é o “2” com a iluminação do laboratório ligada. A razão para isso é que é o estado que apresenta o menor valor de erro percentual. Entretanto, por apresentarem comportamentos bastante parecidos, no caso da avaliação da influência da iluminação para os blocos com média e alta dureza, é possível constatar que em ambas as situações será necessário utilizar o grau de iluminação “3” e a iluminação do laboratório deverá permanecer ligada para executar as medições com o menor erro percentual possível. Com erro percentual um pouco maior que aquele da condição “3”, os materiais de média e alta dureza também poderiam usar o grau de iluminação “2”.

Durante a análise da influência da iluminação sobre as medições de baixa, média e alta dureza HV3 observa-se que, independentemente da iluminação do laboratório estar ligada ou não, há um aumento significativo do erro percentual à medida que é aumentado o grau de iluminação provido pelo sistema Gal-Vision.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho objetivou a determinação das melhores condições de iluminação para a realização da padronização em dureza Vickers HV3. Foram utilizados penetrador de diamante de referência Vickers e três blocos-padrão nas faixas de baixa (129 HV3), média (551 HV3) e alta (827 HV3) dureza, assim como os padrões metrológicos de referência do Brasil “Máquina de Padronização Primária de Dureza” (MPPD) e “Sistema de Referência Metrológica para as Escalas de Dureza Brinell e Vickers” (Gal-Vision), instalados no Laboratório de Força do Campus Laboratorial do Inmetro, que se localiza no distrito de Xerém, na cidade de Duque de Caxias, no Estado do Rio de Janeiro.

Neste trabalho foi possível evidenciar que há uma influência acentuada do grau de incremento da iluminação do sistema ótico do Gal-Vision sobre as medidas de dureza. Logo, comprovou-se que há uma tendência do valor de dureza aumentar com o aumento do grau de iluminação.

Além disso, para a realização das medições de dureza Vickers doravante será adotado o grau de iluminação "2" para baixa dureza Vickers e o grau de iluminação "3" para medições de média e alta dureza Vickers, pois nessas condições o erro percentual será menor, aumentando a confiabilidade metrológica do resultado.

Adicionalmente, a iluminação do laboratório onde os ensaios de dureza Vickers são executados deverá ser mantida ligada para propiciar resultados com alta qualidade.

Como consequência dos resultados obtidos nesta pesquisa, as medidas de dureza nas indústrias dos setores siderúrgico e metal-mecânico brasileiros terão a confiabilidade de suas medições assegurada nas suas linhas de produção. Isto resultará em produtos metálicos produzidos com a máxima qualidade, uma vez que esta confiança metrológica é transmitida do Inmetro diretamente para as indústrias brasileiras – ou através da Rede Brasileira de Laboratórios de Calibração e/ou da Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios, todos acreditados ou credenciados pelo Inmetro – através da calibração de instrumentos e padrões de medição utilizados nos ensaios de dureza Vickers executados no chão de fábrica e nos laboratórios de universidades e centros de P&D.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), pela bolsa de apoio à pesquisa concedida ao técnico Celso Ricardo da Silva Azeredo, e também ao Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), onde atuam no Laboratório de Força (que lida com as áreas de força, torque, dureza e impacto), pelo apoio a este trabalho.

## REFERÊNCIAS

- 1 SOUZA, S.A. Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos: Fundamentos Teóricos e Práticos. São Paulo/Brasil: Editora Edgard Blücher Ltda, 2000.
- 2 KOCH, C.A.; OLIVEIRA, S.P. (Trads.) Guia de Calibração INMETRO DIMEC/gc-04/v.00: Guia para a Estimativa da Incerteza em Medições de Dureza. Duque de Caxias/Brasil: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2008, tradução para o português do “Calibration Guide EURAMET/cg-16/v.01: Guidelines on the Estimation of Uncertainty in Hardness Measurements”. Braunschweig/Alemanha: European Association of National Metrology Institutes, 2007. Disponível em:



- <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/mecanica/pdf/medicoesDureza.pdf>> Acesso em: 26/05/2011.
- 3 Hierarquia do Sistema Metrológico. Disponível em:  
<<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/estrutura.asp>>. Acesso em: 26/05/2011.
  - 4 Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. São Paulo e Rio de Janeiro/Brasil: ABNT, 2005.
  - 5 Norma ABNT NBR NM ISO 6507-1:2008 Materiais Metálicos – Ensaio de Dureza Vickers – Parte 1: Método de Ensaio. São Paulo e Rio de Janeiro/Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
  - 6 Norma ABNT NBR NM ISO 6507-2:2008 Materiais Metálicos – Ensaio de Dureza Vickers – Parte 2: Verificação e Calibração de Máquinas de Ensaio. São Paulo e Rio de Janeiro/Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
  - 7 Norma ABNT NBR NM ISO 6507-3:2008 Materiais Metálicos – Ensaio de Dureza Vickers – Parte 3: Calibração de Blocos de Referência. São Paulo e Rio de Janeiro/Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
  - 8 BIPM-JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections): Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Sèvres/França: Bureau International des Poids et Mesures, 2008. Disponível em:  
<[http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM\\_100\\_2008\\_E.pdf](http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf)> Acesso em: 26/05/2011.