

## Implementação do ensaio de rugosidade como ferramenta de controle de qualidade na produção de revestimentos cerâmicos: análise comparativa entre unidades fabris e laboratório

Aline Bartosiak Rodrigues Peruchi<sup>a\*</sup>, Natalia da Coreggio Redivo<sup>a</sup>, Laura Savi Rosso<sup>a</sup>, Maria Laura Mezzari Mariot<sup>a</sup>, Aline Demarch<sup>a</sup>, Aline Ribeiro<sup>a</sup>, Hilária Mendes de Souza<sup>a</sup>, Juliana de Oliveira Menegon<sup>a</sup>, Angela Waterkemper<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Mohawk Brasil, Rua Maximiliano Gaidzinski 245, Cocal do Sul, Santa Catarina, Brasil

\*e-mail: alinebartosiak@hotmail.com

### Resumo:

Este estudo implementa o ensaio de rugosidade como ferramenta de controle de qualidade na produção de revestimentos cerâmicos em duas unidades fabris de uma empresa em Cocal do Sul, Santa Catarina. A rugosidade superficial é essencial para diversas propriedades dos revestimentos, principalmente a resistência ao escorregamento. A pesquisa comparou os resultados obtidos nas unidades fabris com os resultados do laboratório, utilizando o rugosímetro SJ-210 da Mitutoyo. Durante dois meses, as amostras foram coletadas e medidas diariamente. A Unidade II apresentou uma correlação forte ( $R^2 = 0,99$ ), validando a metodologia, enquanto a Unidade I teve uma correlação moderada ( $R^2 = 0,66$ ), indicando a necessidade de ajustes no processo de medição. A análise do coeficiente de variação (CV) revelou que a dispersão dos dados não é diretamente proporcional à rugosidade, com superfícies mais rugosas sendo mais homogêneas. Conclui-se que a implementação do ensaio de rugosidade nas unidades fabris é viável, mas ajustes na Unidade I são necessários para melhorar a precisão e a consistência dos resultados.

**Palavras-chave:** Rugosidade superficial, controle de qualidade, revestimentos cerâmicos.

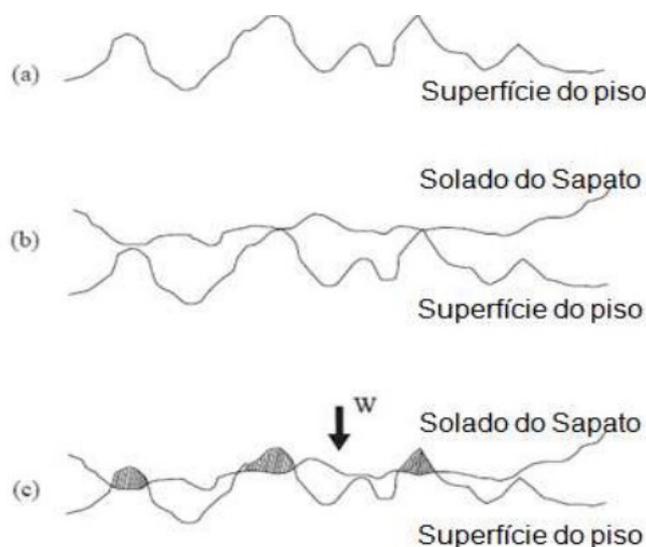
### 1. INTRODUÇÃO:

Uma superfície se torna irregular devido a sua elevada rugosidade, caracterizada por saliências e reentrâncias [1]. No caso dos revestimentos cerâmicos, a rugosidade superficial impacta diretamente diversas propriedades do produto acabado, como as propriedades ópticas, a resistência química e ao desgaste por abrasão, a facilidade de limpeza e retenção de sujeira, além da resistência ao escorregamento [2]. Dentre essas propriedades citadas, a mais crítica e preocupante entre os fabricantes de revestimentos cerâmicos acaba sendo a resistência ao escorregamento, pois quedas por escorregamento estão entre as principais causas de acidentes em ambientes de trabalho e até mesmo em residências [3].

No entanto, a norma NBR ISO 13006 (2020), que define termos e estabelece as classificações, as características e os requisitos de marcação para placas cerâmicas de melhor qualidade comercial,

não contempla nenhum método de teste ou classificação para essa propriedade [4]. No entanto, a ABNT NBR 16919:2020 define que o escorregamento é um decréscimo no valor do coeficiente de atrito entre o corpo em movimento e a superfície de apoio [5].

Um revestimento cerâmico com acabamento polido possui baixa rugosidade, o que resulta em um atrito relativamente reduzido para quem se desloca sobre sua superfície. Essa característica também facilita a limpeza, tornando-o ideal para ambientes propensos à sujeira e fluidos, como banheiros e áreas externas, e nestes locais o risco de escorregamento é maior, aumentando a probabilidade de quedas. Para garantir a segurança no uso de seus produtos, os fabricantes devem levar em conta que o atrito depende tanto das características superficiais quanto das condições de uso. Isso ocorre porque os fluidos diminuem os pontos de contato entre a superfície do piso e o pé do usuário. Por esse motivo, os revestimentos cerâmicos recomendados para essas áreas devem apresentar perfis de rugosidade com picos elevados e estreitos, além de vales profundos capazes de comportar um maior volume de água, o que faz preservar pontos secos durante o contato do pé do usuário com o piso [6]. Uma ilustração da sola de um sapato quando entra em contato com uma superfície rugosa é mostrada na Fig.1.



**Figura 1.** Esquema da interação entre a sola de um sapato e a superfície do piso durante o contato [7]

Existem diversos dispositivos capazes de medir a resistência ao escorregamento, os quais foram desenvolvidos para estabelecer padrões para o escorregamento de pisos utilizados por indústrias e empresas do setor da construção civil [8]. As medições de rugosidade são úteis para identificar rapidamente áreas com possíveis variações na resistência ao deslizamento em condições úmidas, sendo influenciadas pelo tipo de acabamento. Por exemplo, cerâmicas com granilha apresentam maior quantidade de irregularidades superficiais, tornando-se mais rugosas e, conseqüentemente, mais resistentes ao escorregamento, enquanto cerâmicas com acabamento polido possuem superfícies mais lisas [7].

A rugosidade superficial é amplamente estudada na engenharia mecânica, especialmente em peças usinadas. No entanto, embora seja essencial para as propriedades dos revestimentos cerâmicos, a quantidade de estudos sobre o tema ainda é limitada. Adicionalmente, as normas atuais não apresentam uma classificação específica para a rugosidade de materiais cerâmicos [2]. Uma abordagem que os fabricantes de revestimentos cerâmicos adotaram para padronizar a rugosidade é avaliar a textura da superfície por meio da sensibilidade tátil, comparando a peça produzida com uma placa padrão. No entanto, essa metodologia, além de ser qualitativa, apresenta grande subjetividade, uma vez que as avaliações empíricas podem variar significativamente de uma pessoa para outra.

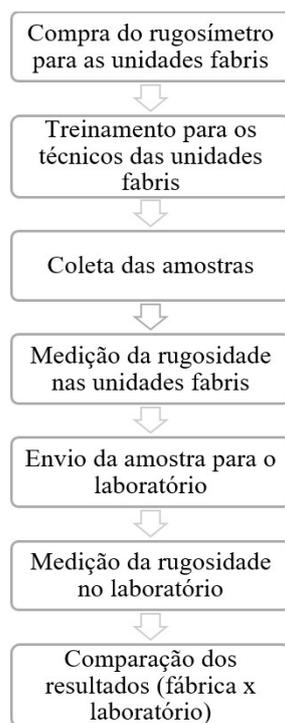
Um equipamento muito utilizado, em outros materiais, para quantificar a rugosidade é o rugosímetro tipo perfilômetro de contato mecânico, que percorre sua agulha apalpadora sobre a superfície analisada. Esse movimento da agulha é transformado em impulsos elétricos e, a partir disso, o parâmetro desejado é registrado no equipamento [9].

Diante desse contexto, o objetivo deste estudo foi implementar o método de ensaio de rugosidade como ferramenta de controle de qualidade durante a fabricação de revestimentos cerâmicos em duas

unidades fabris de uma empresa localizada em Cocal do Sul, Santa Catarina. O ensaio de rugosidade foi realizado na mesma amostra, que em seguida foi enviada pela fábrica para o laboratório de produto acabado. Assim, os resultados de Rz ( $\mu\text{m}$ ) obtidos nas unidades fabris foram comparados com os resultados obtidos no laboratório.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS:

O trabalho é dividido em sete etapas principais, conforme o fluxograma mostrado na Fig.2, que ilustra as atividades desenvolvidas.



**Figura 2.** Fluxograma das etapas do desenvolvimento do trabalho

### 2.1. Compra do rugosímetro e treinamento para os técnicos:

O mesmo rugosímetro utilizado pelo laboratório de produto acabado (modelo SJ-210 da Mitutoyo) foi adquirido para as duas unidades fabris e os técnicos foram devidamente treinados para saberem como operar o equipamento.

### 2.2. Coleta das amostras, medição da rugosidade e envio das amostras:

As amostras foram coletadas uma vez por dia, todos os dias úteis, durante aproximadamente 2 meses, totalizando cerca de 140 produtos. Os técnicos das unidades foram responsáveis por coletar os produtos, de diferentes acabamentos, realizar as medições de rugosidade e encaminhar as amostras para testes no laboratório. O número de medições realizadas em cada amostra, tanto nas unidades quanto no laboratório, foi determinado conforme sua área superficial, como mostra a Tab.1.

**Tabela 1.** Número de medições de rugosidade

Área ( $\text{cm}^2$ )	Número de medições
$\leq 56,25$	3
$> 56,25$ e $\leq 3600$	4
$> 3600$ e $\leq 6400$	6
$> 6400$ e $\leq 8100$	9
$> 8100$ e $\leq 8354$	12
$> 8354$	16

A superfície cerâmica foi limpa para evitar danos à ponteira, que foi cuidadosamente nivelada antes do início da medição. Os valores de Rz obtidos foram registrados em uma planilha para posterior comparação e análise dos resultados.

### 2.3. Comparação dos resultados:

Os valores de rugosidade Rz registrados na fábrica foram enviados ao laboratório, onde o técnico responsável realizou o ensaio de rugosidade na mesma amostra e registrou os resultados obtidos.

Gráficos de relação entre os dois valores foram construídos, com os valores do laboratório no eixo X e os valores da unidade fabril no eixo Y. Com base nessa relação, foi possível obter a equação que representa a correlação entre as duas medições. Além disso, foi possível calcular o coeficiente de correlação R<sup>2</sup> de cada relação. O valor de R<sup>2</sup> pode variar de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 for esse valor, mais forte é a correlação entre as variáveis analisadas, indicando que o modelo de regressão é capaz de explicar uma maior proporção da variabilidade dos dados, como mostra a Tab.2.

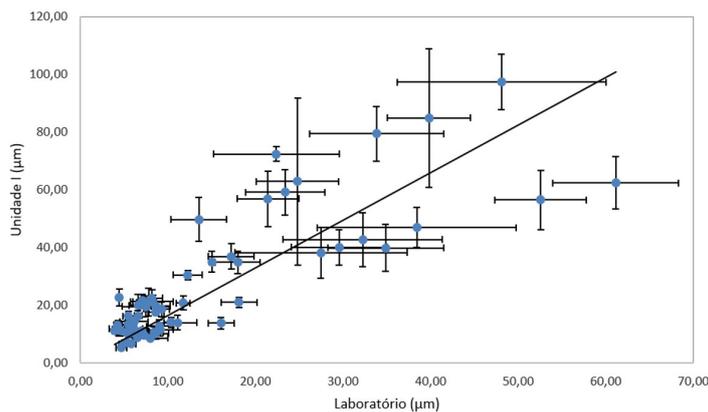
**Tabela 2.** Exemplo de interpretação do coeficiente de correlação [10]

Coeficiente de correlação	Interpretação
0,00 – 0,10	Correlação insignificante
0,10 – 0,39	Correlação fraca
0,40 – 0,69	Correlação moderada
0,70 – 0,89	Correlação forte
0,90 – 1,00	Correlação muito forte

As duas unidades fabris, cujos resultados foram comparados com o laboratório, foram denominadas como Unidade I e Unidade II.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A Fig.3 mostra a relação dos resultados de rugosidade Rz medidas na Unidade I e no laboratório. Cada ponto azul experimental representa a média de Rz encontrada em uma peça. As barras de erro horizontais representam o desvio padrão da medida realizada no laboratório, e as barras de erros verticais representam o desvio padrão da medida realizada na Unidade I.



**Figura 3.** Relação entre Rz medida na Unidade I e no laboratório

A partir do gráfico foi possível chegar à equação que representa a relação entre as medidas realizadas na Unidade I e no laboratório da empresa onde foi executado o trabalho.

$$y = a \cdot x + b$$

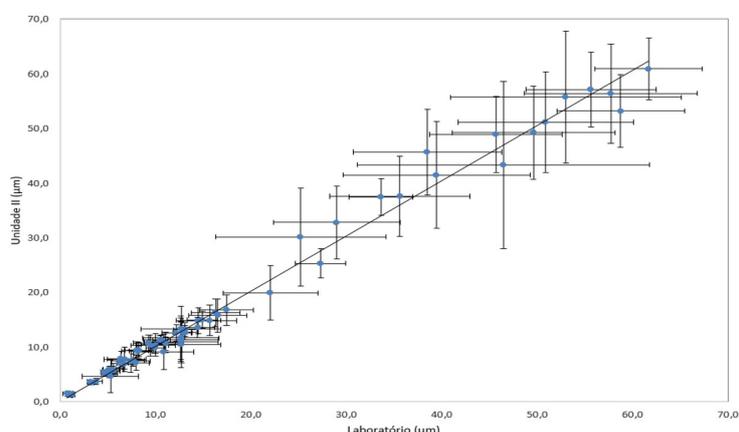
Onde:  $y = Rz_{\text{Unidade I}} (\mu\text{m})$ ;  $x = Rz_{\text{Laboratório}} (\mu\text{m})$ ;  $a =$  coeficiente angular da reta;  $b =$  coeficiente linear da reta.

No caso estudado o valor de  $b$  é igual a zero, pois no caso hipotético de se testar uma superfície perfeitamente lisa as medições realizadas tanto na Unidade I quanto no Laboratório devem ser iguais a zero. Portanto a equação obtida foi:

$$Rz_{\text{Unidade I}} = 1,6492 \cdot Rz_{\text{Laboratório}}$$

O valor de  $R^2$  para essa relação foi de 0,66, o que indica uma correlação moderada, conforme apresentado na Tab.2. Observa-se que, à medida que o valor de  $Rz$  aumenta, o desvio padrão também tende a ser maior, ou seja, as peças tornam-se mais rugosas, com menor homogeneidade na superfície devido à presença de granilhas para deixar a superfície resistente ao escorregamento. Algumas hipóteses podem ser levantadas para explicar essa disparidade de resultados: problemas com o uso do equipamento, que pode ter sido configurado acidentalmente de forma diferente da especificada no procedimento; grande heterogeneidade de textura nas superfícies avaliadas, o que pode ter causado variações nos resultados; poucos pontos de medição realizados na superfície, o que pode não ter capturado a totalidade da variação de rugosidade, afetando a precisão dos resultados.

A Fig.4 apresenta a relação dos resultados de rugosidade  $Rz$  medidas na Unidade II e no laboratório.



**Figura 4.** Relação entre  $Rz$  medida na Unidade II e no laboratório

Semelhante à Unidade I, produtos com maior rugosidade apresentam desvio padrão elevado devido à falta de homogeneidade na superfície, causada pelas granilhas. A equação que representa a correlação entre as medições realizadas no laboratório e Unidade II da empresa é a seguinte:

$$Rz_{\text{Unidade II}} = 1,0109 \cdot Rz_{\text{Laboratório}}$$

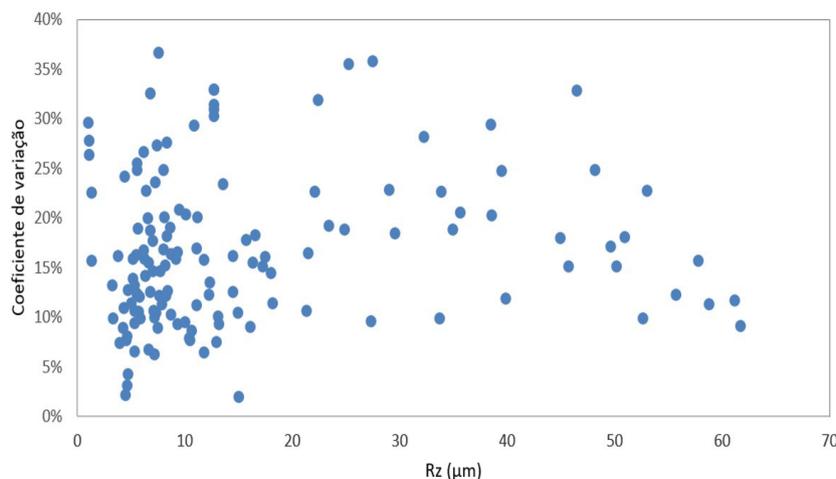
Porém, de modo diferente da Unidade I, a Unidade II obteve valor do  $R^2$  de 0,99, uma correlação muito forte que mostra que a relação é válida. Portanto, pode-se afirmar que os valores obtidos na Unidade II são muito semelhantes aos obtidos no laboratório, validando, portanto, a metodologia de medição entre os dois locais. A fim de verificar a variação dos dados obtidos no laboratório em relação à média e realizar uma análise mais detalhada, utilizou-se equação de coeficiente de variação (CV), onde os resultados estão apresentados na Fig.5.

$$CV = \frac{S}{X}$$

Onde: CV = coeficiente de variação; S = desvio padrão; e X = média.

O coeficiente de variação (CV) é uma medida adimensional que expressa a variabilidade relativa dos dados, facilitando comparações entre conjuntos de dados com diferentes unidades ou escalas.

Por ser independente da unidade de medida, é preferido em relação ao desvio padrão ou à variância para análises comparativas [11].



**Figura 5.** Coeficiente de variação das medidas de Rz do laboratório

Observa-se que, percentualmente, as variações não estão diretamente relacionadas ao nível de rugosidade da superfície. Há superfícies com Rz inferior a 10 µm que apresentam coeficientes de variação próximos a 40%, enquanto outras, com Rz próximo a 60 µm, apresentam coeficientes de variação inferiores a 10%.

Essa análise ressalta que não apenas superfícies muito rugosas, como as granilhadas, apresentam heterogeneidade de textura. Superfícies consideradas lisas também não são perfeitamente homogêneas. Além disso, o a Fig.5 evidencia que, em geral, superfícies com menor rugosidade tendem a apresentar maior dispersão relativa (CV), enquanto superfícies mais rugosas tendem a ser mais homogêneas em termos de variabilidade relativa.

O estudo demonstrou a importância de implementar o ensaio de rugosidade como ferramenta de controle de qualidade na produção de revestimentos cerâmicos. Ao longo de dois meses de análise, as medições realizadas nas duas unidades fabris foram comparadas aos resultados obtidos no laboratório de produto acabado, utilizando o mesmo modelo de rugosímetro. Os resultados evidenciaram que, enquanto a Unidade II apresentou uma correlação muito forte ( $R^2 = 0,99$ ), validando a consistência da metodologia aplicada, a Unidade I exibiu uma correlação moderada ( $R^2 = 0,66$ ), sugerindo que ajustes no processo de medição ou nos procedimentos de operação podem ser necessários para aprimorar a precisão e a reprodutibilidade dos resultados.

Por isso, para a Unidade I é essencial implementar um treinamento contínuo para os técnicos, assegurar a padronização rigorosa dos procedimentos e dedicar mais atenção à configuração dos equipamentos, com o objetivo de reduzir a subjetividade e os erros durante o processo de medição.

A análise do coeficiente de variação (CV) revelou que a dispersão relativa dos dados não é diretamente proporcional à rugosidade absoluta. Superfícies consideradas mais lisas, com Rz inferior a 10 µm, apresentaram coeficientes de variação superiores a 40%, enquanto superfícies rugosas, com Rz próximo a 60 µm, mostraram coeficientes de variação abaixo de 10%. Esses resultados reforçam que não apenas superfícies granilhadas e altamente rugosas apresentam heterogeneidade de textura; mesmo superfícies consideradas lisas podem apresentar variações significativas, o que impacta a percepção e a funcionalidade desses materiais.

A relação entre a rugosidade superficial e a funcionalidade dos revestimentos cerâmicos, especialmente no que tange à resistência ao escorregamento, torna essa análise ainda mais relevante. O controle da rugosidade é crucial para garantir propriedades como segurança, facilidade de limpeza, resistência ao desgaste e desempenho óptico. No contexto industrial, a aplicação de métodos quantitativos como o ensaio de rugosidade contribui não apenas para a padronização da produção, mas também para o desenvolvimento de produtos que atendam às exigências de mercado e às normativas vigentes.

#### 4. CONCLUSÃO:

Por fim, com base no estudo realizado, conclui-se que é viável aplicar o método de ensaio de rugosidade nas unidades fabris e obter resultados semelhantes aos obtidos no laboratório, uma vez que a Unidade II apresentou uma correlação de 0,99. No entanto, alguns ajustes precisam ser realizados na Unidade I para que seus resultados sejam tão satisfatórios quanto os da Unidade II.

#### AGRADECIMENTOS:

**Os autores agradecem ao Departamento de Garantia da Qualidade da Empresa Mohawk Brasil, bem como aos seus colaboradores, pela disponibilização dos equipamentos, colaboração e orientação.**

#### REFERÊNCIAS

- [1] Fernandes M C S, Paulin Filho P I, Morelli M R, 2011. Análise da superfície de grês porcelanato por microscopia de força atômica. *Cerâmica* 57, 173-179. [www.scielo.br/j/ce/a/65FLYzDYjs3dcLWpkxCVs6p/?lang=pt&format=pdf](http://www.scielo.br/j/ce/a/65FLYzDYjs3dcLWpkxCVs6p/?lang=pt&format=pdf)
- [2] Parra B S, Gennari R C, Melchiades F G, Boschi A O, 2006. Rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial* 11, 2, 0-4. <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657287f8c9d6e028b46ef/pdf/ci-11-2-587657287f8c9d6e028b46ef.pdf>
- [3] Demarch A, Rosso L S, Menegon J O, Vieira A W, Angioletto E, 2023. Estudo da influência do solado do calçado na resistência ao escorregamento de diferentes superfícies cerâmicas. *Cerâmica Industrial* 28, 1, 1-11. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2024.037>
- [4] Demarch A, 2024. Estudo do desempenho de diferentes superfícies de revestimento cerâmico quanto ao desgaste em condições reais de uso. Criciúma: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense.
- [5] ABNT NBR 16919, 2020: Placas cerâmicas: determinação do coeficiente de atrito. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [6] Scorisa M M, Lot A V, Melchiades F G, Boschi A O, 2016. Breve descrição dos métodos de avaliação da resistência ao escorregamento de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial* 21, 3, 7-12. <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2016.020>
- [7] Demarch A, 2019. Análise da relação entre rugosidade superficial e resistência ao escorregamento de revestimentos cerâmicos submetidos ao desgaste. Criciúma: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense. <http://repositorio.unesc.net/handle/1/6995>
- [8] Lockhart T E, 2008. An integrated approach towards identifying age-related mechanisms of slip initiated falls. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 18, 2, 205-217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.06.006>
- [9] Instrusul, 2017. Rugosímetro: como funciona. Instrusul Instrumentos de Medição. <https://blog.instrusul.com.br/rugosimetro-como-funciona/>
- [10] Schober P, Boer C, Schwarte L A, 2018. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia* 126, 5, 1763-1768. <http://dx.doi.org/10.1213/ane.0000000000002864>
- [11] Puggard W, Niwitpong S-A, Niwitpong S, 2022. Confidence intervals for common coefficient of variation of several Birnbaum-Saunders distributions. *Symmetry* 14, 10, 2101. <http://dx.doi.org/10.3390/sym14102101>