

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Gustavo Greve

**ECODESIGN EM PROCESSOS: (RE)UTILIZAÇÃO DE EFLUENTES DO PROCESSO DE
TINGIMENTO DE ÁGATA PARA COLORAÇÃO ARTIFICIAL DO BASALTO CARIJÓ**

Porto Alegre

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Gustavo Greve

**ECODESIGN EM PROCESSOS: (RE)UTILIZAÇÃO DE EFLUENTES DO PROCESSO DE
TINGIMENTO DE ÁGATA PARA COLORAÇÃO ARTIFICIAL DO BASALTO CARIJÓ**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do grau de Mestre em Design.

Orientadora: Lauren da Cunha Duarte

Porto Alegre

2013

Gustavo Greve

**ECODESIGN EM PROCESSOS: (RE)UTILIZAÇÃO DE EFLUENTES DO PROCESSO DE
TINGIMENTO DE ÁGATA PARA COLORAÇÃO ARTIFICIAL DO BASALTO CARIJÓ**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em design da UFRGS.

Porto Alegre, 17 de dezembro de 2013.

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Lauren da Cunha Duarte

Orientadora

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Juliano Tonezer da Silva

Universidade de Passo Fundo

Prof. Dr. Pedro Luiz Juchem

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de uma ou outra forma auxiliaram para que fosse possível o desenvolvimento deste trabalho inicial. Em especial gostaria de agradecer, sem estabelecimento de ordem de importância, à minha orientadora, Lauren da Cunha Duarte, pelo carinho, paciência e dedicação dispensados nesta primeira etapa; à bolsista Laura Martins, pela realização das análises petrográficas para caracterização das rochas e geração de eletromicrografias das lâminas delgadas; ao Prof Dr Ary Roisenberg, do Departamento de Mineralogia e Petrologia da UFRGS/Instituto de Geociências, pela cedência de microscópio de luz polarizada e auxílio para execução das análises petrográficas; ao Prof Dr Luiz Fernando De Ros, do Departamento de Mineralogia e Petrologia da UFRGS/Instituto de Geociências, pela cedência de microscópio de luz polarizada para a geração de fotomicrografias das lâminas delgadas das rochas; à colega de curso Prof^a Ms. Tatiana Eder da Rocha Lago pelo auxílio na execução dos primeiros experimentos; ao Prof Ms Hélio Dorneles Etchepare, amigo e professor do Centro Universitário UNIVATES, pelo acompanhamento na visita à pedreiras no município de Nova Prata – RS, a cedência de fotos das pedreiras visitadas e doação das amostras de rocha previamente cortadas e identificadas e das lâminas petrográficas; à Prof^a Dr^a Simone Stulp, ao Prof. Dr. Eduardo Miranda Ethur e a bolsista Verônica Radelli Machado pelo auxílio nas análises dos efluentes; ao Prof Dr Claus Haetinger, amigo, professor e ex-Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Pós Graduação do Centro Universitário UNIVATES, pela autorização para flexibilização dos meus horários de trabalho junto à instituição; aos Srs Leonel Gonçalves e Ediane Santana, gestores da empresa Ediane Santa – ME, pelas informações sobre os processos de tingimento de ágata disponibilizadas bem como pela cedência dos efluentes utilizados nos ensaios; e ao Sr Gilmar Lovizon pela acolhida, permitindo a geração das imagens da extração e pelas informações relativas à cadeia produtiva do basalto.

Gostaria também de agradecer aos meus pais, Cláudio Greve e Anemari Trein Greve (*in memoriam*), pela minha formação; à minha esposa, Samanta Inês Vanzin, e ao meu filho, Heitor Vanzin Greve, pela paciência, carinho e disponibilização de parte dos seus tempos de convivência para que este do trabalho fosse concretizado.

RESUMO

O presente trabalho buscou verificar aspectos relacionados ao (re)aproveitamento e agregação de valor, analisando a viabilidade técnica e de investimento em processos de coloração artificial do “basalto carijó” (riodacito) utilizando efluentes dos processos de tingimento inorgânico vermelho de ágata. Para isto foram inicialmente buscadas e descritas informações acerca das cadeias produtivas da ágata e do basalto e processos de beneficiamento destas, bem como de processos de impregnação industrialmente utilizados. A partir das informações obtidas foi iniciado o ciclo de ensaios e análises, dividido em três fases. Todos os ensaios realizados tiveram como objetivo, além do tingimento da rocha, o desenvolvimento de processos ambientalmente sustentáveis. Na primeira fase, dada a falta de informações sobre processos de impregnação em rochas ou materiais idênticos, foram utilizados processos de simples imersão, sob vácuo e/ou pressão. O primeiro ensaio foi estabelecido aleatoriamente e os subsequentes programados a partir da análise visual dos resultados obtidos nos anteriores. Na segunda fase, considerando a baixa influência verificada pelas cargas de pressão e vácuo utilizadas anteriormente, optou-se pela utilização de aquecimento de 90°C durante os ensaios – processo baseado nos utilizados para o tingimento da ágata – tendo, diferentemente da primeira fase, todos os ensaios seus parâmetros de execução previamente estabelecidos. Nestes, foram obtidos resultados mais ágeis e melhores no que tange a alteração de cor. Após a realização dos processos de tingimento, as amostras foram serradas, para a verificação da possível impregnação do efluente, e, posteriormente, uma das metades de cada amostra levada à queima em forno sob temperatura de 200°C durante 8 horas – processo também baseado nos utilizados para o tingimento da ágata. Na terceira fase, buscando a minimização da possibilidade de volatilização do efluente e da impregnação deste na rocha – não verificada nas amostras serradas na segunda fase de ensaios – foi reduzida para 40°C a temperatura de aquecimento utilizada durante os processos e aumentados os tempos de exposição das amostras ao pigmentante. Também nesta fase foram utilizados efluentes provenientes de lotes com diferentes concentrações de Fe para a verificação da influência desta nos resultados. Ao final, também foram serradas e queimadas as amostras. Os resultados obtidos em cada ensaio foram digitalmente registrados para análise quantitativa utilizando padrão H (matiz), S (saturação) e B (brilho). Tecnicamente, após a análise quantitativa, foram verificados melhores resultados nos processos desenvolvidos na fase dois (sob 90°C) sendo, a partir destes desenvolvida análise de investimento para ambas as indústrias envolvidas – ágata e basalto. Bons resultados foram obtidos na análise de investimento para a indústria de beneficiamento de ágata a partir dos valores de mercado utilizados como parâmetros. Já para a indústria de beneficiamento do basalto o impacto do custo de contratação dos serviços de tingimento junto à indústria da ágata determinou a inviabilidade de investimento no processo.

Palavras-chave – efluente, basalto carijó, riódacito, tingimento, análise técnica, análise de investimento

ABSTRACT

This study aimed to verify aspects concerning to (re)use and appreciation, analyzing the technical and the investment feasibility in artificial processes to dye "Basalto Carijón" (rhyodacite) using effluent from dyeing processes of inorganic red agate. Initially are described and sought information about supply chains and beneficiation processes of production chains agate and basalt, as well as impregnation processes industrially used. From the information obtained was started the three stages of experimentation and analysis. All trials were designed, to beyond the dyeing of the rocks, to advance in environmentally sustainable processes. In the first stage, given the lack of information about impregnation process on rocks or identical materials, simple immersion processes were used under vacuum and / or pressure. The first trial was randomly established and the subsequent programmes was starting from the visual analysis of the results obtained in the precedents. In the second stage, considering the low influence verified by loads of pressure and vacuum used previously, we opted for the use of heating of 90 ° C during the trials - based process used in for dyeing agate - having, unlike the first phase, all trials was previously established. Better, with respect to color change, and more agile results were obtained in these experiments. After completion of the dyeing process, the samples were sawn, to check the possible impregnation of the effluent, and subsequently one half of each sample was burned oven at a temperature of 200 ° C for 8 hours - process also based in used to dyeing agate. In the third phase, seeking to minimize the possibility of volatilization of the wastewater and soak this in the rock - not observed in samples sawn in the second phase of trials - was reduced to 40 ° C heating temperature used during the procedure and was increased the time of exposure the samples to the colorant. Also at this stage effluents from batches with different concentrations of Fe to verify the influence of the results were used. At the end, were also burnt the halves of the sawn samples. The results obtained in each experiment were digitally recorded for quantitative analysis using H (hue), S (saturation) and B (brightness) standard colours. Technically, after the quantitative analysis, the best results on the processes developed in phase two (under 90) being developed from these investment analysis for both industries involved have been checked. Good results were obtained in the analysis of investment industry for beneficiation agate from the market values used as parameters. As for the processing industry Basalt the impact of the cost of hiring the services of dyeing with the agate industry determined the impracticability of investment in the process.

Keywords – effluent, carijón basalt, rhyodacite, dyeing, technical analysis, investment analysis

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Região do Basalto: recorte do mapa geológico da faixa noroeste do estado onde se localiza a “Região do Basalto”, o município de Nova Prata e adjacências. 30
- Figura 2 – Pedreira de extração no Município de Nova Prata (a) vista da frente de lavra com a demarcação da vista frontal apresentada em b; (b) vista frontal da lavra ampliada; e (c) detalhe da disjunção tabular 31
- Figura 3 – Representação esquemática da constituição básica de uma frente de lavra (sem escala)..... 32
- Figura 4 – Tonalidades do material extraído em Nova Prata: (a) na coloração acinzentada (tipo carijó) e (b) com superfície alterada por processos naturais 33
- Figura 5 – Revestimentos de superfícies com basalto colorido naturalmente: (a) revestimento parcial de parede de box em banheiro; (b) revestimento frontal e lateral de churrasqueira; (c) mosaico no piso de área externa 33
- Figura 6 – Bomba de vácuo e pressão e câmara dotada de manovacuômetro analógico 52
- Figura 7 – Estrutura, utilizada para o desenvolvimento dos processos de tingimento inorgânico de ágata, contendo estrutura para suporte dos tonéis metálicos e queima da lenha e três tonéis metálicos onde são imersos os geodos e/ou chapas de ágata 53
- Figura 8 – Utensílios e equipamentos: (a) cadinho de porcelana com amostra imersa em efluente e (b) forno marca Zezimaq utilizados na segunda fase de experimentos..... 54
- Figura 9 – Utensílios e equipamentos: multimachine da marca Lapidart dotada de disco diamantado..... 54
- Figura 10 – Câmara constituída de caixa de madeira reaproveitada de *pallets*: (a) parte interna revestida com placas de polipropileno e dotada de lâmpada incandescente de 60W marca Phillips e (b) parte externa 55
- Figura 11 – Equipamentos e utensílios: (a) carcaças de refrigeradores/freezers utilizados nos processos de tingimento orgânico de ágata; (b) carcaça de refrigerador contendo bombona polimérica com peças de ágata e princípio colorante; e (c) carcaça de refrigerador contendo bombona polimérica com peças de ágata e princípio colorante e lâmpadas para aquecimento 56
- Figura 12 – Recipientes poliméricos utilizados nos experimentos da fase 3 com efluentes dos três lotes (lotes 3, 2 e 1, respectivamente, da esquerda para a direita) 57
- Figura 13 – Fotomicrografias do riódacito. (a) fotomicrografia em luz polarizada (LP), com destaque para microfenocristal de clinopiroxênio subédrico microfraturado (acastanhado) e plagioclásios límpidos em matriz vítrea e textura esferulítica; (b) fotomicrografia em luz polarizada (LP) com destaque para micrólitos de clinopiroxênio subédrico microfraturado (acastanhado), plagioclásios límpidos em matriz vítrea e textura esferulítica e mineral metálico (amarelado) na lateral direita da imagem..... 60

Figura 14 – Imagem eletrônica de varredura da matriz do riodacito e espectros EDS: (a) imagem da matriz do riodacito com marcação dos três pontos analisados; (b) espectro de análise do ponto 1 apontando a presença de potássio, sódio, alumínio e silício; (c) espectro de análise do ponto 2 apontando a presença de potássio, ferro, sódio, alumínio e silício; e (d) espectro de análise do ponto 3 apontando a presença de potássio, ferro, sódio, alumínio e silício. 61

Figura 15 – Imagem eletrônica de varredura da matriz do riodacito e espectros EDS: (a) imagem da matriz do riodacito com marcação dos três pontos analisados; (b) espectro de análise do ponto 1 apontando a presença de potássio, sódio, magnésio, alumínio e silício; (c) espectro de análise do ponto 2 apontando a presença de potássio, ferro, sódio, magnésio, alumínio e silício; e (d) espectro de análise do ponto 3 apontando a presença de potássio, ferro, sódio, alumínio e silício..... 62

Figura 16 – Figura comparativa das faces polidas (a) na cor natural e (b) resultante do ensaio 1 64

Figura 17 – Figura comparativa das faces não polidas (a) na cor natural e (b) resultante do ensaio 1 64

Figura 18 – Figura comparativa das faces polidas das peças resultantes dos primeiros seis ensaios: imersão sob vácuo de (a) meia hora; (b) uma hora; e (c) uma hora e meia; e sob pressão de (d) meia hora; (e) uma hora; e (f) uma hora e meia 65

Figura 19 – Figura comparativa das faces não polidas das peças resultantes dos primeiros seis ensaios: imersão sob vácuo de (a) meia hora; (b) uma hora; e (c) uma hora e meia; e sob pressão de (d) meia hora; (e) uma hora; e (f) uma hora e meia 65

Figura 20 – Figura comparativa das colorações das faces polidas de (a) peça na coloração natural, (b) peça resultante do ensaio 1 e (c) peça resultante do ensaio 7... 66

Figura 21 – Figura comparativa das colorações das faces não polidas de (a) peça na coloração natural, (b) peça resultante do ensaio 1 e (c) peça resultante do ensaio 7... 66

Figura 22 – Figura comparativa das faces polidas (a) na coloração natural, (b) resultante do ensaio 1, (c) resultante do ensaio 7 e (d) resultante do ensaio 10 67

Figura 23 – Figura comparativa das faces não polidas (a) na coloração natural, (b) resultante do ensaio 1, (c) resultante do ensaio 7 e (d) resultante do ensaio 10 67

Figura 24 – Figura comparativa entre a coloração (a) natural, (b) após o tingimento e (c) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com meia hora de imersão; (d) natural, (e) após o tingimento e (f) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora de imersão; e (g) natural, (h) após o tingimento e (i) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora e meia de imersão. Todas as imagens são referentes às faces polidas das amostras de rocha 69

Figura 25 – Figura comparativa entre a coloração (a) natural, (b) após o tingimento e (c) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com meia hora de imersão; (d) natural, (e) após o tingimento e (f) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora de imersão; e (g) natural, (h) após o tingimento e (i) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora e meia de imersão. Todas as imagens são referentes às faces não polidas das amostras de rocha 70

Figura 26 – Figura comparativa entre a coloração (a) natural, (b) após o tingimento e (c) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com meia hora de imersão; (d) natural, (e) após o tingimento e (f) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora de imersão; e (g) natural, (h) após o tingimento e (i) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora e meia de imersão. Todas as imagens são referentes às faces internas geradas pela partição das amostras de rocha 71

Figura 27 – Figura comparativa dos resultados obtidos nas pigmentações das faces polidas no processo de uma hora com efluente do (a) lote 1, (b) lote 2 e (c) lote 3; de uma hora e meia com efluente do (d) lote 1, (e) lote 2 e (f) lote 3; de 24 horas com efluente do (g) lote 1, (h) lote 2 e (i) lote 3; e de 72 horas com efluente do (j) lote 1, (k) lote 2 e (l) lote 3 72

Figura 28 – Figura comparativa dos resultados obtidos nas pigmentações das faces não polidas no processo de uma hora com efluente do (a) lote 1, (b) lote 2 e (c) lote 3; de uma hora e meia com efluente do (d) lote 1, (e) lote 2 e (f) lote 3; de 24 horas com efluente do (g) lote 1, (h) lote 2 e (i) lote 3; e de 72 horas com efluente do (j) lote 1, (k) lote 2 e (l) lote 3 73

Figura 29 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 1 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 24 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada 74

Figura 30 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces não polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 1 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 24 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada 75

Figura 31 - Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces internas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 1 por uma hora (a) tingida e (b) queimada; uma hora e meia (c) tingida e (d) queimada; 24 horas (e) tingida e (f) queimada; e 72 horas (g) tingida e (h) queimada 76

Figura 32 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 2 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 24 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada 77

Figura 33 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces não polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 2 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 24 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada 78

Figura 34 - Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces internas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 2 por uma hora (a) tingida e (b) queimada; uma hora e meia (c) tingida e (d) queimada; 24 horas (e) tingida e (f) queimada; e 72 horas (g) tingida e (h) queimada 79

Figura 35 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 3 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 72 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada 80

Figura 36 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces não polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 3 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 72 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada 81

Figura 37 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces internas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 3 por uma hora (a) tingida e (b) queimada; uma hora e meia (c) tingida e (d) queimada; 24 horas (e) tingida e (f) queimada; e 72 horas (g) tingida e (h) queimada 82

Figura 38 - Vista parcial da tela do Seletor de Cores do software Adobe Photoshop® com indicação dos padrões de evolução de cada um dos parâmetros (H, S e B) 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução anual da produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento e os montantes destinados aos mercados interno e externo.....	28
Tabela 2 – Aumento no volume físico de rochas ornamentais e revestimentos em bruto e processadas importadas entre 2007 e 2001 (em ton.)	28
Tabela 3 – Consumo <i>per capita</i> de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil entre 2007 e 2011 (em kg)	28
Tabela 4 – Estratégias utilizadas para o desenvolvimento de cada um dos ensaios iniciais	52
Tabela 5 – Resultados das análise de espectrometria por absorção atômica, condutividade elétrica e pH dos três lotes de efluente	62
Tabela 6 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas peças, na coloração natural, analisadas para comparação da alteração da coloração após o processo de tingimento	84
Tabela 7 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas e não polidas das peças resultantes dos 10 ensaios da primeira fase em comparação com a média das peças naturais	86
Tabela 8 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas e não polidas das peças resultantes dos 3 ensaios da segunda fase em comparação com as peças naturais	88
Tabela 9 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas e não polidas das peças resultantes dos 4 ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1, em comparação com os das peças naturais	92
Tabela 10 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas e não polidas das peças resultantes dos 4 ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2, em comparação com os das peças naturais	96
Tabela 11 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas e não polidas das peças resultantes dos 4 ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 3, em comparação com os das peças naturais	100
Tabela 12 – Custos unitários para desenvolvimento dos processos de tingimento, sob aquecimento a 90°C, junto a indústria de beneficiamento de ágata.....	106
Tabela 13 – Cálculo da margem de contribuição gerada pelo processo de tingimento para a indústria de beneficiamento de ágata.....	107

Tabela 14 – Valores orçados e estimados para análise de investimento da indústria de beneficiamento de basalto no sistema 108

Tabela 15 – Compilação de resultados das simulações realizadas com valores diferenciados para o preço/kg de beneficiamento “basalto carijó” por conjunto de tambor e bombona plástica 109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Métodos de impregnação para o tratamento de madeira sem utilização de controle de temperatura e de pressão e vácuo	41
Quadro 2 – Métodos de impregnação para o tratamento de madeira com utilização de controle de temperatura e de pressão e vácuo	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas peças, na coloração natural, analisadas para comparação da alteração da coloração após o processo de tingimento	85
Gráfico 2 - Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces polidas das peças resultantes dos 10 ensaios da primeira fase em comparação com a média das peças naturais	86
Gráfico 3 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces não polidas das peças resultantes dos 10 ensaios da primeira fase em comparação com a média das peças naturais	87
Gráfico 4 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces polidas das peças resultantes dos 3 ensaios da segunda fase em comparação com as peças naturais ...	89
Gráfico 5 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces não polidas das peças resultantes dos 3 ensaios da segunda fase em comparação com as peças naturais ...	89
Gráfico 6 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces internas das peças resultantes dos 3 ensaios da segunda fase	90
Gráfico 7 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1, em comparação com as peças naturais	93
Gráfico 8 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces não polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1, em comparação com as peças naturais	94
Gráfico 9 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces internas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1	95
Gráfico 10 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2, em comparação com as peças naturais	97
Gráfico 11 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces não polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2, em comparação com as peças naturais	98
Gráfico 12 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces internas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2	99
Gráfico 13 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 3, em comparação com as peças naturais	101

Gráfico 14 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces não polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 3, em comparação com as peças naturais 102

Gráfico 15 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces internas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 3 103

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%	percentual
.bmp	<i>Windows Bitmap</i> (formato gráfico por mapa de bits)
>	superior a
°	graus
°C	medida de temperatura em graus Celsius
µm	micrometro
3R's	redução, reuso e reciclagem
APL	Arranjo Produtivo Local
CAD	<i>Computer Aided Design</i> ou Desenho Assistido por Computador
cm	centímetro
cm ²	centímetro quadrado
cm ³	centímetro cúbico
dpi	pixels por polegada quadrada
e.g.	<i>exempli gratia</i> ou por exemplo
EDX / EDS	<i>energy dispersive x-ray detector</i> ou detector de energia dispersiva de raios-X
et al.	e outros
Fe	ferro
H	hora
HSB	<i>hue, saturation, brightness</i> ou matiz, saturação, brilho
HCl	ácido clorídrico
HNO ₃	ácido nítrico
IBGM	Instituto Brasileiro de Gemas e Materiais Preciosos
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (imposto estadual)
IGEO	Instituto de Geociências
IL	índice de lucratividade
kgf/cm ²	quilogramas força por centímetro quadrado
km	quilômetro
LdSM	Laboratório de Design e Seleção de Materiais
m ²	metros quadrados
MEV	microscopia eletrônica de varredura
mg/L	miligramas por litro

min	minuto
ml	mililitros
mm	milímetro
mS/cm	miliSiemens por centímetro
<i>N</i>	mol por litro (quantidade de matéria - concentração molar - por volume de solução - em litros)
N	newton
pH	potencial hidrogeniônico ou potencial hidrogênio iônico
pixels	abreviatura de <i>picture elements</i> (menores elementos em um dispositivo de imagem – e.g. monitor – aos quais é possível atribuir cor ou menor elemento de imagem digital)
R\$	sigla referente à moeda oficial do Brasil (real)
SiO ₂	óxido de silício
TIR	taxa interna de retorno
TMA	taxa mínima de atratividade
ton.	toneladas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNIVATES	Centro Universitário UNIVATES
US\$	sigla referente à moeda oficial dos Estados Unidos da América (dólar)
VPL	valor presente líquido

SUMÁRIO

1.	CONTEXTUALIZAÇÃO	21
2.	ESTADO DA ARTE.....	26
2.1	Rochas ornamentais e de revestimento	26
2.1.1	Cadeia produtiva brasileira.....	27
2.2	Basalto Carijó	29
2.2.1	Processos de beneficiamento do Basalto Carijó	33
2.3	Ágata	35
2.3.1	Cadeia produtiva da ágata	36
2.3.2	Processos de beneficiamento da ágata	38
2.4	Processos de impregnação	39
2.4.1	Processos de impregnação em madeira.....	40
2.4.2	Tingimento inorgânico da ágata	42
2.4.2.1	Processos de tingimento inorgânico vermelho.....	42
2.5	Análise de investimento.....	43
2.5.1	Tempo de recuperação do capital – <i>payback</i>	44
2.5.2	Taxa interna de retorno – TIR	44
2.5.3	Valor presente líquido – VPL.....	44
2.5.4	Índice de lucratividade – IL.....	45
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1	Caracterização do basalto carijó	46
3.1.1	Caracterização por petrografia	46
3.1.2	Caracterização por microscopia eletrônica de varredura	47
3.1.3	Microanálise química quantitativa e semiquantitativa por dispersão de raios-X – EDS	47
3.2	Caracterização dos efluentes	48
3.2.1	Análise dos constituintes dos efluentes por espectrometria de absorção atômica.....	48

3.2.2	Análise da condutividade elétrica dos efluentes.....	49
3.2.3	Determinação de pH dos efluentes	50
3.3	Caracterização e análise das colorações obtidas após o tingimento	50
3.4	Processos e equipamentos utilizados para o desenvolvimento dos experimentos.....	51
3.4.1	Experimentos – primeira fase.....	51
3.4.2	Experimentos – segunda fase.....	53
3.4.3	Experimentos – terceira fase.....	55
3.5	Análise de investimento.....	57
4.	RESULTADOS	59
4.1	Análises da rocha.....	59
4.2	Análise dos efluentes	62
4.3	Desenvolvimento e análise qualitativa dos ensaios.....	63
4.3.1	Ensaio de tingimento – primeira fase	63
4.3.2	Ensaio de tingimento – segunda fase.....	67
4.3.3	Ensaio de tingimento – terceira fase	71
4.4	Análises quantitativas dos ensaios.....	82
4.4.1	Análises quantitativas das colorações obtidas na primeira fase de ensaios.....	83
4.4.2	Análises quantitativas das colorações obtidas na segunda fase de ensaios.....	88
4.4.3	Análises quantitativas das colorações obtidas na terceira fase de ensaios.....	91
	4.4.3.1. Análises quantitativas das colorações obtidas na terceira fase de ensaios – lote 1	92
	4.4.3.2. Análises quantitativas das colorações obtidas na terceira fase de ensaios – lote 2	96
	4.4.3.3. Análises quantitativas das colorações obtidas na terceira fase de ensaios – lote 3	100
4.5	Análise geral dos ensaios e definição do processo para a análise de investimento.....	104
4.6	Análise de investimento.....	104
4.6.1	Análise de investimento da indústria de beneficiamento da ágata.....	105

4.6.2	Análise de investimento da indústria de beneficiamento da basalto	107
4.6.3	Análises de investimento complementares	108
4.7	Análise sob a perspectiva do ecodesign	110
5.	CONCLUSÕES	111
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
	BIBLIOGRAFIA	115

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O cenário da construção civil brasileira entre 2001 – ano em que foi iniciada a série de registros mensais de evolução do setor pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – e 2003 vivenciou período de instabilidade, apresentando significativo descolamento da variação do Produto Interno Bruto – PIB nacional (DIEESE, 2011).

A partir de 2004, com o aumento dos incentivos, da disponibilidade de recursos e do incremento nas linhas de crédito para financiamento imobiliário, o setor apresentou sinais de expansão com o aumento nos investimentos em infraestrutura e em unidades habitacionais. Com taxa média de crescimento anual superior a 4,4%, em 2010 o setor da construção civil apresentou valor adicionado bruto, sobre 2009, da ordem de 11,6% (DIEESE, 2011).

Acompanhando a expansão do setor da construção civil, seu principal consumidor, a indústria de rochas ornamentais e de revestimento brasileira apresentou crescimento de mais de 40%, em volume, entre os anos de 2006 e 2011 na comercialização de materiais para o mercado interno (ABIROCHAS, 2012).

Com aproximadamente 500 tipos de rochas reconhecidas internacionalmente por sua qualidade, o Brasil ocupou a sétima posição, em volume total, entre os países exportadores de rochas ornamentais em 2011. O país destacou-se no mesmo ano como terceiro maior exportador de blocos de granitos e produtos de ardósia, com participações de 10,79% e 9,57%, respectivamente (ABIROCHAS, 2012).

Mundialmente, diferentemente das *commodities*, a valorização das rochas ornamentais se dá pela combinação de agregação tecnológica e vantagem funcional com os atributos estéticos dos materiais. Apesar de a valorização das rochas ornamentais e de revestimento se dar a partir da combinação destes três fatores, de forma geral os processos de beneficiamento destas baseiam-se em processos simples de beneficiamento como corte e, em alguns casos, polimento dos materiais, originando produtos com baixo valor agregado aos atributos naturais inerentes (ABIROCHAS, 2004).

Os produtos em rochas ornamentais e de revestimento, destinados à construção civil, são classificados em cinco categorias (pavimentos internos e externos – pisos; revestimentos externos – fachadas; degraus; revestimentos internos – paredes; e trabalhos especiais – tampos diversos) representando estes 80% do total produzido. A fabricação de obras estruturais (colunas, etc.), arte funerária (lápides e adornos) e para outros usos completam o rol de produtos representando 5%, 13% e 2% da produção, respectivamente (ABIROCHAS, 2004).

Cabe salientar que os atuais processos de beneficiamento de rochas ornamentais e de revestimento já são conhecidos e utilizados há décadas, não tendo sido desenvolvidas novas técnicas que permitissem maior valorização deste tipo de material natural. Assim como junto ao setor produtivo, existe dificuldade na obtenção de informações sobre alternativas diferenciadas para a agregação de maior valor às rochas junto à bibliografia existente.

No Estado do Rio Grande do Sul (RS), assim como em outros Estados da federação, a indústria de extração e beneficiamento de rochas ornamentais apresenta significativa representatividade social e econômica para diversos municípios, podendo ser destacado localmente o polo produtivo da “Região do Basalto”, localizado em torno da cidade de Nova Prata.

Assim como a indústria de rochas, a da ágata apresenta igualmente significativa importância social e econômica para diversas cidades do Estado. Apesar de basear-se em processos de corte e polimento, assim como a de rochas, a indústria de beneficiamento de ágata há décadas desenvolve processos que permitem agregação de maior valor aos materiais naturais.

Dentre os processos para agregação de valor podem ser destacados os de lapidação e de tingimento. Os processos de tingimento de ágata através de processos térmicos e químicos permitem que sejam coloridas as peças geralmente acinzentadas do material gemológico.

Colorações vermelho-alaranjadas, azuladas e esverdeadas, entre outras, podem ser obtidas a partir do tingimento havendo conhecimento e aceitação por parte do mercado de materiais com alterações por este tipo de processos (IBGM, 2009).

Apesar da utilização de sistemas relativamente mais complexos de agregação de valor que a indústria de rochas, a indústria brasileira de beneficiamento de ágata ainda

carece de inovação em seus processos para que estes proporcionem maior produtividade, maior qualidade nos produtos finais e que possibilitem a maximização da utilização dos insumos e a produção mais limpa.

Conforme Tidd, Bessant e Pavitt (2010) e Scherer e Carlomagno (2009), entre outros, a estruturação de sistemas inovativos e a busca constante por alternativas aos produtos e processos existentes possibilita a criação e manutenção de diferenciais competitivos capazes de gerar desempenhos mercadológicos diferenciados a partir da inserção de novos produtos ou da adequação de produtos maduros aos requisitos demandados pelo mercado.

Diretamente relacionado aos fatores mercadológicos e econômicos, o design apresenta capacidade de potencializar resultados auferidos pelas inovações através da múltipla escolha de materiais e processos que afetam distintos grupos sociais e de interesse, o meio ambiente e a qualidade de vida (KINDLEIN JUNIOR; GUANABARA, 2006).

Utilizando critérios múltiplos, não somente técnicos, o design busca a resolução dos problemas através do desenvolvimento, não sistemático, de alternativas “suficientemente boas”, não sendo determinada a alternativa ótima, através da releitura, reinterpretação ou readequação, de soluções já concebidas e de conhecimentos multidisciplinares (VISSER, 2009).

Devido à forma não sistematizada de tratamento das informações e à intensa influência da percepção dos profissionais do design no desenvolvimento das soluções, abordagens sob diferentes focos foram desenvolvidas, coexistindo atualmente. Dentre estas, pode ser destacada a abordagem baseada nos princípios de sustentabilidade: o ecodesign.

Desconsiderado ou com importância menor durante décadas, um dos fatores atualmente com destaque nos processos de inovação é a orientação dos sistemas produtivos e produtos por critérios de sustentabilidade. Apesar de apresentar-se como uma denominação ampla em seu significado, o ecodesign busca apresentar uma sintetização do conjunto de atividades que tendem a representar os temas propostos pela questão ambiental (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

Baxter (2001) destaca, dentre as ferramentas de ecodesign utilizadas pelos designers, a avaliação do impacto ambiental dos produtos através da análise do ciclo de

vida do produto, que busca identificar e quantificar os materiais e a energia utilizados desde a extração das matérias primas, passando pelo beneficiamento, transporte, utilização até o seu descarte final.

Complementarmente, Holloway et al. (1994), descrevem que além dos materiais e energia, o inventário para uma análise do ciclo de vida de um produto, deverá considerar os subprodutos, ou resíduos – sólidos, líquidos e gasosos – gerados (*outputs*), passíveis de geração de risco ao ambiente.

Atuando de forma conjunta e complementar à análise de ciclo de vida do produto, também como ferramenta do ecodesign, a análise sobre as condições de redução, reuso e reciclagem (3R's) de insumos possibilita o desenvolvimento de alternativas para a minimização dos impactos gerados. Através da redução no consumo, reuso e reciclagem dos materiais, além da minimização da necessidade de utilização de materiais virgens, poderá ser reduzida a carga de resíduos e, em alguns casos, os custos produtivos (CÂNDIDO et al., 2011).

A partir dos preceitos do ecodesign, visando o desenvolvimento de alternativa para o (re)aproveitamento de resíduos gerados pelos processos de beneficiamento de ágata, o presente trabalho buscará verificar quais as condições de ser viabilizada, técnica e economicamente, a (re)utilização de efluente inorgânico do processo de tingimento vermelho de ágata para agregação de valor, por coloração artificial, às rochas de revestimento extraídas e beneficiadas na “Região do Basalto”.

Para tanto deverão ser verificadas a viabilidade técnica do processo de coloração artificial de riodacito da “Região do Basalto” com efluentes do tingimento inorgânico de ágata utilizando vácuo, pressão, aquecimento e simples imersão, bem como a análise de investimento e verificação da viabilidade da utilização do processo pela indústria.

Considerando as condições técnicas, deverão ser analisadas a capacidade de impregnação dos efluentes no riodacito, as características dos efluentes, os tipos de processos passíveis de serem utilizados e os tipos de equipamentos necessários para o desenvolvimento dos processos. Já para análise de viabilidade de investimento deverão ser desenvolvidas simulações, baseadas nos custos para implantação dos processos e estimativas de fluxo de caixa, utilizando ferramentas básicas como tempo de retorno de capital (*payback*), taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL) e índice de

lucratividade (IL) para mensuração da probabilidade de sucesso no desenvolvimento industrial do(s) processo(s) proposto(s).

O presente trabalho justifica-se pelo estado do RS destacar-se no cenário internacional como um dos principais produtores de ágata (HARTMANN, 2010), da sua importância social e econômica em diversas regiões do Estado e da necessidade de serem desenvolvidos processos que possam (re)aproveitar seus efluentes, atualmente descartados.

Da mesma forma, o trabalho é justificado pela importância social e econômica da indústria do basalto, a exclusividade do Estado na extração e beneficiamento deste tipo de materiais e do baixo grau de agregação de valor nestes.

Além da contribuição para as indústrias do basalto e da ágata, como contribuição às áreas acadêmica e científica na área do design e inovação, entre outras, o presente trabalho visa o desenvolvimento de material bibliográfico sobre processos para coloração artificial de riodacito. O material poderá também ser utilizado para o desenvolvimento de novos estudos para a (re)utilização deste tipo de efluente e para o tingimento de outros tipos de rochas ornamentais e de revestimento.

2. ESTADO DA ARTE

A busca de alternativa para o (re)aproveitamento dos efluentes oriundos dos processos de tingimento de ágata, com princípios colorantes ativos (mas em concentração insuficiente para o seu reaproveitamento na própria cadeia), e a restrita disponibilidade de cores dos riodacitos extraídos na “Região do Basalto” suscitou a possibilidade de utilização dos primeiros para coloração das rochas.

Informações para melhor compreensão das características dos materiais envolvidos e verificação de processos que possibilitem a viabilização técnica dos processos de tingimento do riodacito com efluentes dos processos em ágata foram buscadas junto à bibliografia. Da mesma forma foi efetuado levantamento para verificação de ferramentas para análise básica das condições de investimento para o desenvolvimento dos processos industrialmente.

2.1 Rochas ornamentais e de revestimento

Como rochas ornamentais e de revestimento são designados os materiais geológicos naturais passíveis de extração em blocos ou placas, recortados em formas diversas, beneficiadas por esquadreamento, polimento e lustro, entre outros (MME, 2009).

Utilizadas geralmente como peças isoladas – e.g. esculturas, tampos e lápides – ou em edificações – e.g. revestimentos, internos ou externos, de paredes, pisos e pilares – as rochas ornamentais e de revestimento tem apresentado crescimento mundial na sua extração, beneficiamento e consumo (MME, 2009).

Comercialmente as rochas ornamentais e de revestimento são basicamente subdivididas em dois grandes grupos: granitos e mármore. Como granitos, são classificadas, genericamente, as rochas silicáticas, enquanto como mármore, *lato sensu*, as rochas carbonáticas. Outras rochas, não enquadradas nos dois grandes grupos principais, como quartzitos, serpentinitos, travertinos, basaltos, gabros e ardósias, também apresentam representatividade comercial na cadeia (MME, 2009).

2.1.1 Cadeia produtiva brasileira

Essencialmente composta por micro e pequenas empresas e com nível de informalidade relativamente elevado, a cadeia brasileira de rochas ornamentais e de revestimento registra atividades em 370 municípios, estando representada em quase todos os estados da Federação. Os estados do Espírito Santo e de Minas Gerais abrigam as duas maiores concentrações produtivas, totalizando 9 das 18 aglomerações registradas no país (MME, 2009 e ABIROCHAS, 2012c).

Dados apresentados pela ABIROCHAS (2012c) apontam que no ano de 2010 a cadeia produtiva de rochas ornamentais brasileira era composta por 10.000 empresas e responsável por 120 mil empregos diretos e 360 mil indiretos em 2010.

Utilizando, de forma geral, equipamentos de fabricação nacional com mais de 15 anos e desatualizados tecnologicamente (MME, 2009), a indústria brasileira foi responsável no ano de 2011 pela produção de 9 milhões de toneladas, sendo 6,811 milhões para o mercado interno e 2,189 milhões para exportação, figurando como 4º maior produtor mundial, 7º maior exportador em volume físico total e 3º maior exportador de blocos de granitos e produtos de ardósia (ABIROCHAS, 2012b).

É estimado que o parque industrial brasileiro tenha capacidade instalada, para serragem e polimento de chapas, de 70 milhões de m²/ano a partir de blocos de rocha, caracterizadas pela geração da maior parte dos denominados produtos especiais (acabados e semiacabados). A capacidade é acrescida de 50 milhões de m²/ano em produtos simples (acabados), gerados principalmente a partir de rochas com estruturas em planos naturais de deslocamento, ou de disjunção (*e.g. ardósia e basalto*) (ABIROCHAS, 2012c).

Na Tabela 1 é apresentada evolução anual da produção de rochas ornamentais no Brasil e os montantes destinados aos mercados interno e externo.

Tabela 1 – Evolução anual da produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento e os montantes destinados aos mercados interno e externo

Ano	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Produção (em milhões de ton.)	7,5	8,0	7,8	7,6	8,9	9,0
Mercado interno (em milhões de ton.)	4,3	4,6	5,1	5,4	5,9	6,1
Mercado externo (em milhões de ton.)	3,2	3,4	2,7	2,2	3,0	2,9

Fonte: ABIROCHAS, 2012a

Puderam ser verificados também aumentos nos volumes físicos de rochas ornamentais e de revestimento importadas em bruto e processadas entre os anos de 2007 e 2011. Os volumes por tipo e totais são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Aumento no volume físico de rochas ornamentais e revestimentos em bruto e processadas importadas entre 2007 e 2011 (em ton.)

Ano	2007	2008	2009	2010	2011
Rochas importadas em bruto	14,34	21,2	15,53	23	25,3
Rochas importadas beneficiadas	62,57	70,04	51,08	67,9	136,4*
Totais das importações	76,91	91,24	66,61	90,09	161,7

* incluindo chapas aglomeradas, em 2011.

Fonte: ABIROCHAS, 2012a

Considerando o mercado interno, dados referentes ao consumo *per capita* apontaram aumento de 131% no consumo de rochas ornamentais e de revestimento entre 2007 e 2011, apontando maior utilização deste tipo de material junto à construção civil, principal consumidor. No período, este passou de 14,91 kg para 19,5 kg (Tabela 3) (ABIROCHAS, 2012).

Tabela 3 – Consumo *per capita* de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil entre 2007 e 2011 (em kg)

Ano	2007	2008	2009	2010	2011
Consumo per capita*	14,91	16,58	16,86	18,69	19,5

* 193 milhões de habitantes em 2010

Fonte: ABIROCHAS, 2012

Figurando entre os estados com maiores concentrações produtivas, o RS, em 2010, foi responsável por 1,11% da produção nacional com 100.000 toneladas de rochas, destacando-se a extração e beneficiamento de granitos, basaltos e quartzitos (ABIROCHAS, 2012c).

Apesar de apresentar empresas do segmento distribuídas em todas as suas regiões, comercial e industrialmente destaca-se o conglomerado “Basaltos Nova Prata” (regionalmente denominada como “Região do Basalto”), localizado a nordeste do estado (MME, 2009). Além do destaque comercial e industrial, a região apresenta as principais jazidas de extração de riodacito, ou “basalto carijó”, comercializado como rocha ornamental.

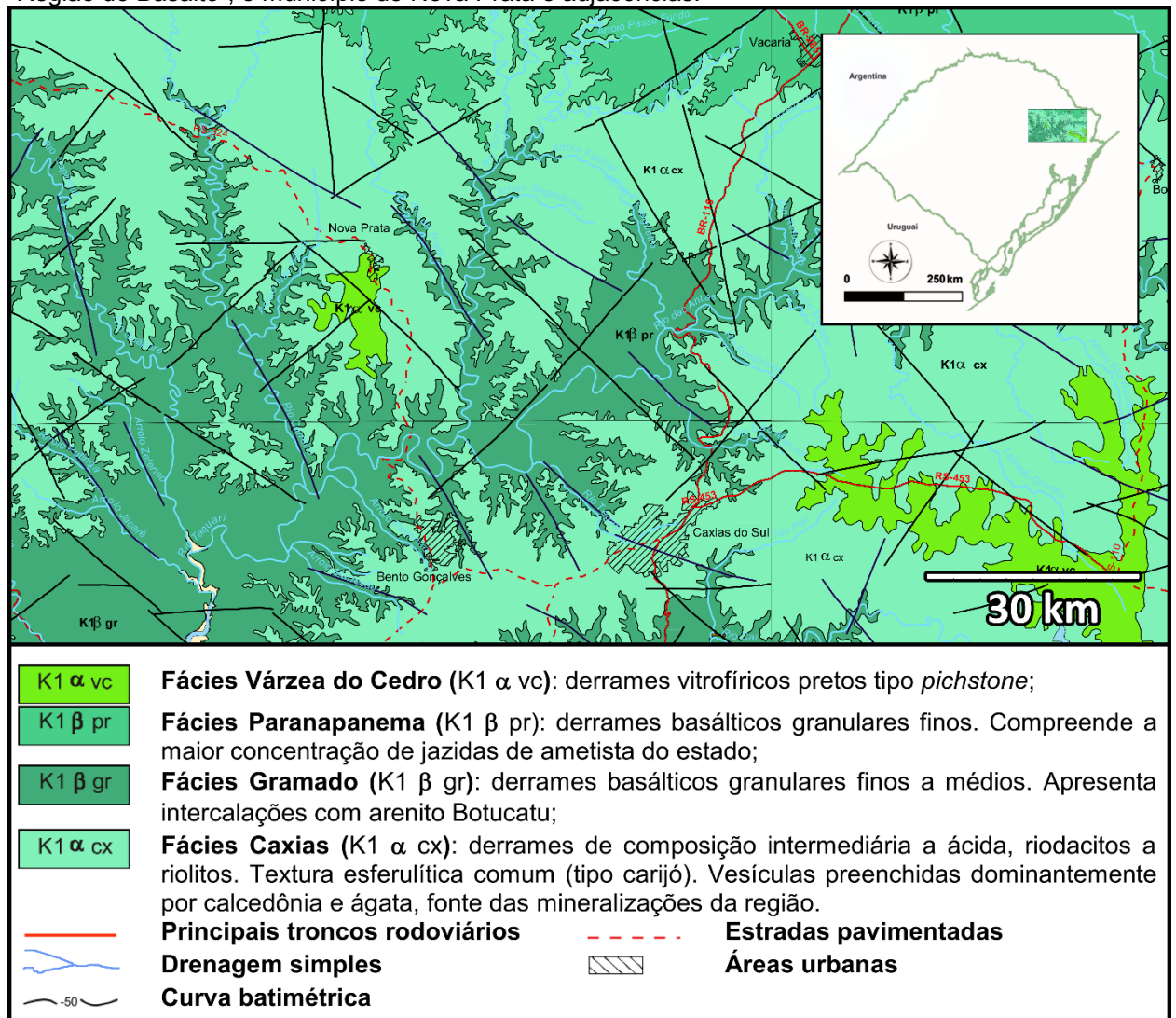
2.2 Basalto Carijó

Como “Basalto Carijó” – assim denominado por sua coloração formada pela mescla heterogênea característica entre materiais claros e escuros – é conhecida parcela das rochas extrusivas ácidas encontradas em grande parte da metade norte e do oeste do estado do RS pertencente à Formação Serra Geral.

A Formação Serra Geral é descrita como a província magmática localizada na região centro-sul do Brasil e ao longo das fronteiras do Paraguai, Uruguai e Argentina com área de $1,2 \times 10^6$ km² da porção sul da Bacia do Paraná (WILDNER, 2004). Apresentando em sua superfície rochas ígneas extrusivas com predomínio da ocorrência de basalto e, em algumas regiões, basalto andesito, riolito e riodacito (VIERO, 2010) a Formação Serra Geral apresenta 97,5% do seu volume composto por derrames de natureza básica e 2,5% de natureza ácida e intermediária, estes localizados no topo da pilha estratigráfica (FRIZZON, 2009).

Recobrando e eventualmente ocorrendo de forma intercalada com as basálticas/básicas, as rochas ácidas (riodacito/riolito) características da Fácies Caxias da Formação Serra Geral podem ser encontradas em larga faixa do nordeste do estado do RS, inclusive junto ao Município de Nova Prata, conforme apresentado por Wildner et al. (2008) (Figura 1).

Figura 1 – Região do Basalto: recorte do mapa geológico da faixa noroeste do estado onde se localiza a “Região do Basalto”, o município de Nova Prata e adjacências.



Fonte: modificado de Wildner et al. 2008.

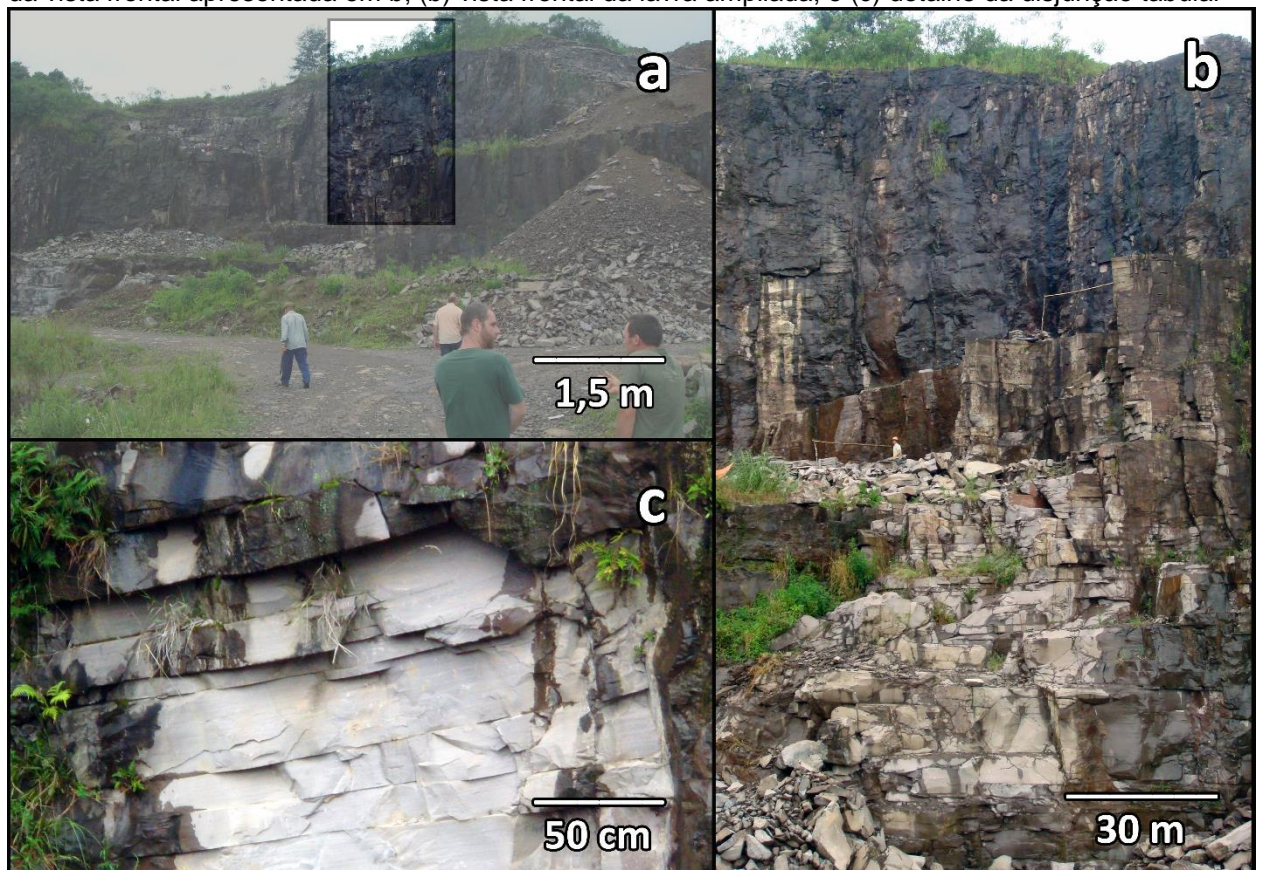
Composta por 17 municípios, a “Região do Basalto” (REVISTA DO BASALTO, 2000), tem no município de Nova Prata a maior concentração de empresas vinculadas à extração e beneficiamento de rochas ornamentais. Segundo dados publicados na Hierarquia Socioeconômica – Nova Prata (2010), no ano de 2009, existiam na região 300 frentes de lavra, estando no município de Nova Prata – conhecido como a Capital Nacional do Basalto – registradas, à época, 104 destas e 39 empresas de beneficiamento, conferindo ao setor representatividade de 8,85% no recolhimento de tributos no município.

Apesar da disponibilidade de outros tipos de materiais geológicos, os processos de extração de rochas ornamentais e de revestimento da “Região do Basalto” concentram-se na exploração de materiais em zonas com predomínio de fraturamento horizontal, típicas da Fácies Caxias, de onde são retirados materiais que, por sua

semelhança visual, são comercialmente denominados como basaltos (REVISTA DO BASALTO, 2000).

Tecnicamente Wildner et al. (2008) descrevem que os materiais encontrados nos conjuntos de rochas pertencentes à Fácies Caxias apresentam composição intermediária a ácida, riódacitos e riolitos, mesocráticos, microgranulares a vitrofíricos, textura esferulítica comum (tipo carijó), forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de fluxo e autobrechas frequentes, vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata. Exemplos de frente de lavra e da formação rochosa encontrados em Nova Prata podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 – Pedreira de extração no Município de Nova Prata (a) vista da frente de lavra com a demarcação da vista frontal apresentada em b; (b) vista frontal da lavra ampliada; e (c) detalhe da disjunção tabular



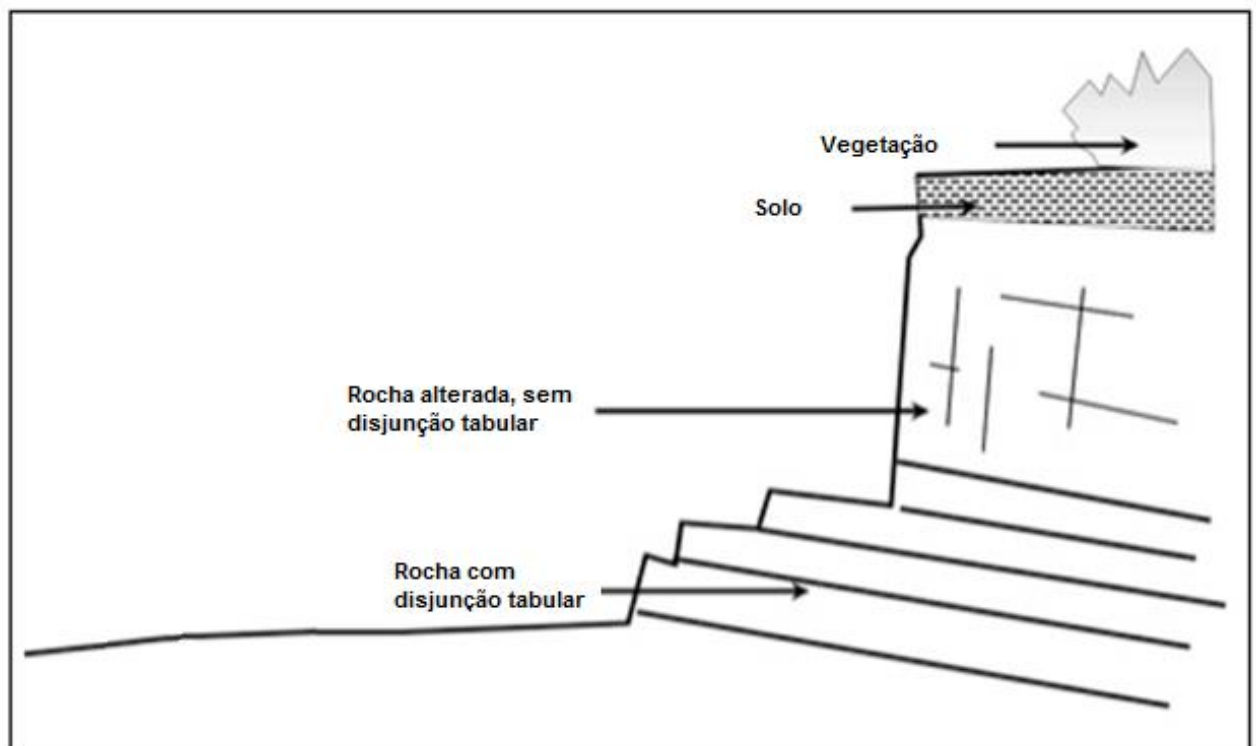
Fotos: Hélio D. Etchepare

A abertura de frentes de lavra no município de Nova Prata, de forma geral, é feita a partir da face exposta de um vale. Para que sejam acessados os materiais de interesse comercial é retirado do solo de cobertura, a camada de rocha alterada – que não apresenta características físicas para utilização junto à construção civil – e as porções sem diaclase ou disjunção tabular para posterior início da exploração (TOSCAN; KAUTZMANN, 2007).

Para exploração, inicialmente é providenciado o deslocamento do banco (ou liberação das placas de rocha), com a utilização de explosivos de baixa intensidade, e a remoção dos fragmentos gerados. Subsequentemente, ainda junto à frente de lavra, são manualmente separados, selecionados e cortados os fragmentos com a utilização de equipamentos rudimentares como talhadeiras, marretas, cunhas e formões (TOSCAN; KAUTZMANN, 2007).

A Figura 3 apresenta, de forma esquemática a constituição básica de uma frente de lavra típica do município de Nova Prata.

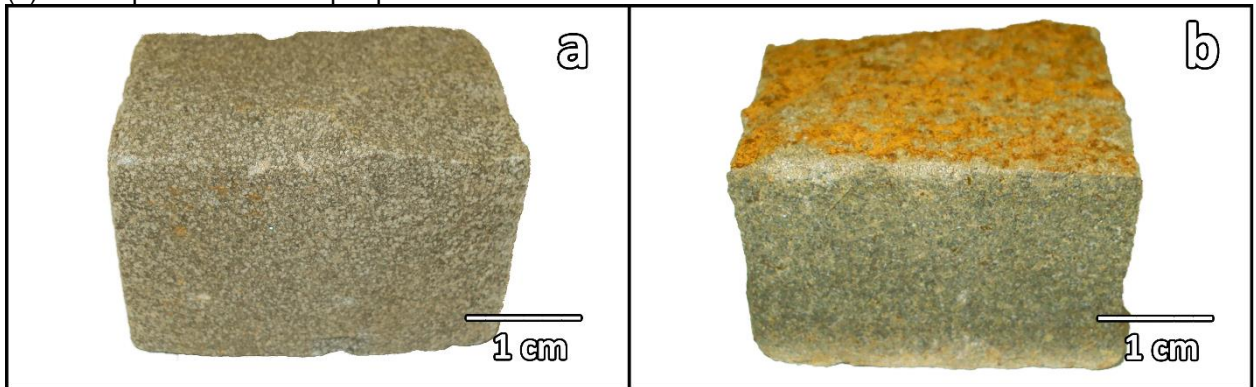
Figura 3 – Representação esquemática da constituição básica de uma frente de lavra (sem escala)



Fonte: modificado de Toscan e Kautzmann (2007)

Geralmente os materiais explotados apresentam coloração acinzentada característica do “basalto carijó” (Figura 4a), sendo, esporadicamente, junto às porções superiores das frentes de lavra, encontrados materiais com a coloração superficial alterada para tonalidades amareladas/avermelhadas (Figura 4b).

Figura 4 – Tonalidades do material extraído em Nova Prata: (a) na coloração acinzentada (tipo carijó) e (b) com superfície alterada por processos naturais



Os materiais com coloração diferenciada, por sua reduzida disponibilidade, apesar de serem empregados na produção de mosaicos e outros tipos de revestimentos valorizados arquitetonicamente, não apresentam valor comercial diferenciado e são pouco representativos no que tange a volume para indústria. Exemplos de emprego do basalto tingido naturalmente podem ser visualizados na Figura 5.

Figura 5 – Revestimentos de superfícies com basalto colorido naturalmente: (a) revestimento parcial de parede de box em banheiro; (b) revestimento frontal e lateral de churrasqueira; (c) mosaico no piso de área externa



2.2.1 Processos de beneficiamento do Basalto Carijó

Apesar do baixo índice de mecanização encontrado junto aos processos extrativos, na indústria pode ser percebida a utilização de equipamentos capazes de

geração de significativa produtividade e acabamento superficial satisfatório nas peças. Cabe salientar que o parque industrial instalado não apresenta condições de geração de peças com formas diferenciadas, sendo disponibilizados ao mercado, de forma geral, produtos de corte reto e com baixo valor agregado, voltados principalmente para revestimento – e.g. lajes (regulares e irregulares) para calçadas, peças polidas para pisos internos e externos, paralelepípedos e pedras de alicerce, entre outros (REVISTA DO BASALTO, 2000).

As disjunções, características das formações encontradas na região de Nova Prata, facilitam a obtenção e beneficiamento de diversos tipos de produtos, em forma e dimensões, para revestimento. Apesar de até meados dos anos 1990 a produção estar baseada na extração e comercialização de retalhos para calçamento – peças, de formato irregular, obtidas a partir da simples quebra do extrato diaclasado – esta perdeu sua posição de destaque nos anos posteriores (TOSCAN; KAUTZMANN, 2007).

Novos tipos de aproveitamento, o avanço das pedreiras em áreas de disjunção irregular e o investimento nos sistemas produtivos possibilitaram a disponibilização de novos produtos, com valor agregado superior ao dos retalhos (TOSCAN; KAUTZMANN, 2007).

No município de Nova Prata, em 2004, a produção, baseada em materiais locais, era composta por paralelepípedos (50%), lajes (10%), retalhos para calçamento (20%), pedras para alicerce (10%) e outros (10%) (TOSCAN; KAUTZMANN, 2007).

Conforme descrito na Revista do Basalto (2000) os paralelepípedos podem ser encontrados na forma regular ou irregular. A forma regular geralmente é produzida sob encomenda, utilizando material de espessura semelhante, desbastado manualmente em suas laterais utilizando ferramentas como talhadeiras e marretas. Já a forma irregular é encontrada com maior frequência, apresentando como característica principal, apesar da regularidade na forma, dimensões variadas. Para a produção de paralelepípedos sempre são utilizados materiais cuja espessura é superior a 10 cm.

As lajes podem ser encontradas nas formas regular (polida ou não), irregular normal e irregular desbastada. Para a obtenção de peças regulares são utilizadas serras diamantadas para o seu esquadrejamento e talhadeiras e marretas para o desbaste da face inferior. Cabe salientar que o desbaste da face inferior visa a maximização da condição de aderência das peças. As superfícies superiores das peças podem ser

polidas utilizando politrizes específicas para o beneficiamento de rochas dotadas de cabeçotes diamantados (REVISTA DO BASALTO, 2000).

Já as peças irregulares podem ter suas laterais desbastadas ou não. As lajes irregulares normais são comercializadas sem qualquer processo posterior ao da sua extração. As irregulares desbastadas passam por processos de corte de suas laterais, efetuados em serras diamantadas ou, em alguns casos, em prensas hidráulicas dotadas de lâminas específicas de corte. As peças desbastadas apresentam formas poligonais diversas que facilitam seu enquadramento durante a colocação. Para produção de lajes são utilizados materiais com espessuras entre 3 e 12 cm (REVISTA DO BASALTO, 2000).

Os processos de produção de pedras de alicerce, apesar da utilização de ferramentas como talhadeiras e marretas para a confecção de paralelepípedos, se diferenciam destes por utilizarem materiais de maior espessura, algumas vezes acima de 25 cm, e utilizarem, geralmente, padrões de tamanho específicos, que possibilitam a “amarração” exata das peças durante a sua colocação (REVISTA DO BASALTO, 2000).

De forma geral os outros produtos beneficiados são obtidos a partir da utilização dos mesmos tipos de processos, equipamentos e ferramentas citados, sendo alteradas apenas as suas dimensões.

2.3 Ágata

A ocorrência de geodos de ágata se deve às características específicas da formação geológica regional. Conforme exposto por Strieder e Heemann (2006) a formação dos geodos de ágata pode ocorrer pela fluidização de rochas ricas em sílica subjacentes, pertencentes à Formação Botucatu, durante os derrames magmáticos sobrepostos a estas. Conforme os autores, na região de Salto do Jacuí e adjacências, área de significativa atividade extrativa deste tipo de material, os geodos foram formados a partir deste tipo de processo.

Para a formação dos geodos de ágata a partir do processo proposto, a sobreposição de materiais magmáticos alcalinos, ricos em compostos voláteis, gera a fluidização das rochas ricas em sílica componentes da formação Botucatu. A partir disto, considerando igualmente a pressão gerada, os fluídos são impelidos através dos magmas em resfriamento a ocuparem, durante seus processos de desgaseificação, as

vesículas formadas pelos compostos voláteis. Os sistemas naturais gerados para o resfriamento lento, a partir de altas temperaturas, das massas de sílica depositadas nas cavidades, possibilitaram as condições adequadas para a sua cristalização e formação dos geodos (STRIEDER; HEEMANN, 2006).

Caracterizada por Brum e Silva (2010) não apenas como um tipo de mineral, mas sim como um conjunto de várias formas de sílica, principalmente calcedônia, a ágata apresenta bandas, visíveis a olho nu ou não, paralelas às superfícies livres, formadas por microestruturas fibrosas de óxido de silício (90% – 99%). Podem ser identificados, apesar de em menores proporções, em algumas peças, água, óxido de ferro e óxido de alumínio, entre outros. Subtranslúcida a translúcida, turbida, variando ligeiramente em suas camadas, a ágata apresenta geralmente coloração acinzentada, podendo ser encontradas tonalidades azul-acinzentadas, azul-leitosas, azuladas, verde-acinzentadas, amareladas, alaranjadas e avermelhadas. Sua coloração geralmente é uniforme ou com leves diferenças entre bandas. Não apresenta clivagem, apresentando quando solicitado, fraturamento desigual paralelo às fibras (FRONDEL, 1962).

Conforme Hartmann (2010) o estado do RS é o maior produtor mundial de ágata, sendo sua cadeia produtiva significativa nos contextos social e financeiro. Como principais localizações de jazidas de ágata e ametista (gema geralmente encontrada nas mesmas regiões), Fensterseifer (2010) destaca o Vale do Taquari, os municípios de Ametista do Sul, Planalto e Rodeio Bonito, na região noroeste, São Martinho da Serra e Salto do Jacuí, na região central, e Quaraí e Santana do Livramento, na fronteira sudoeste.

2.3.1 Cadeia produtiva da ágata

O Brasil é reconhecido internacionalmente pela diversidade e volume da sua Província Gemológica, sendo estimado que 1/3 das ágatas produzidas mundialmente seja brasileiro (IBGM, 2012b). Extraídas e beneficiadas, em sua grande maioria, por garimpeiros e pequenas empresas, presume-se que 80% das gemas brasileiras tenham como destino o mercado externo (IBGM, 2005).

Considerando a representatividade da produção brasileira no contexto e a indisponibilidade de informações atualizadas sobre volumes produzidos e valores referentes à comercialização mundial, relativizando os valores nacionais de pedras em

bruto (US\$ 5.779 milhões), pedras lapidadas (US\$ 114.581 milhões) e obras e artefatos de pedras (US\$ 16.115 milhões) exportados no ano de 2011 (IBGM, 2012a), obtém-se cifra superior a US\$ 500 milhões para as movimentações totais do mercado mundial.

Estima-se, devido ao alto grau de informalidade (aproximadamente 50%) do setor e ao conflito entre as informações geradas, que o parque industrial brasileiro seja composto por cerca de 3.500 empresas de lapidação, joalheria, de produção de artefatos de pedras e de folheados de metais preciosos localizadas principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Bahia, devendo ser igualmente destacados os polos nos estados do Paraná, Pará, Amazonas e Goiás, em franca expansão (IBGM, 2012b).

Inserida no contexto do Arranjo Produtivo Local – APL, implantado no ano de 2004, a cadeia da ágata contava, no mesmo ano, com parque industrial constituído por aproximadamente 600 pequenas empresas, responsável por cerca de 20% das exportações brasileiras de gemas e joias (US\$ 47 milhões anuais, à época), apresentava destaque nas cidades de Lajeado – 250 empresas dos segmentos de lapidação, artefatos de pedra e de máquinas e equipamentos – e Soledade – 120 empresas dos segmentos de lapidação e artefatos de pedras (IBGM, 2005).

Informações mais recentes apontam gradual declínio junto ao município de Lajeado (FENSTERSEIFER, 2010) e o incremento das atividades, com a existência de mais de 180 empresas de micro e pequeno porte instaladas, no município de Soledade (SILVA; HARTMANN; HAUSCHILD, 2010) devido a processos de migração das operações entre estes (FENSTERSEIFER, 2010).

Além dos dados apresentados por Silva, Hartmann e Hauschild (2010) dados oficiais obtidos junto à Divisão de Estudos Econômicos da Secretaria da Fazenda do Estado do Rio Grande do Sul corroboram para a confirmação da informação referente à existência de processos migratórios, e da não desestruturação da cadeia produtiva, apresentados por Fensterseifer (2010). Entre os anos de 2000 e 2011 a arrecadação de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS provinda de atividades vinculadas às “*atividades extrativas, de beneficiamento e de comércio atacadista de pedras semipreciosas*”¹, apesar das fortes flutuações no período, apresentou crescimento de 16,19%, chegando a R\$ 471.122,00.

¹ Nomenclatura histórica utilizada para classificação de materiais gemológicos como a ágata, mantida junto ao órgão de controle

Cabe salientar que devido à cadeia ser composta essencialmente por micro e pequenas empresas e aos incentivos, através da redução ou isenção na cobrança de determinados impostos, proporcionados pelas alterações nas políticas tributárias nacional e estadual ocorridas no período, os valores recolhidos podem não representar a real taxa de crescimento da cadeia.

2.3.2 Processos de beneficiamento da ágata

Os processos de beneficiamento de ágata, apesar da riqueza mineral, de forma geral, são desenvolvidos de forma pouco elaborada, apresentando limitações sob o ponto de vista tecnológico e produtivo, sendo utilizados, predominantemente procedimentos manuais e baixo índice de automação (BARP; FERREIRA; NEIS, 2010).

De forma geral, antes de serem encaminhados para beneficiamento, os geodos são recebidos do garimpo, lavados e classificados – de acordo com a sua condição de aproveitamento. Para o beneficiamento, os geodos são encaminhados para corte em equipamentos dotados de serras diamantadas e sistemas de lubrificação e refrigeração destas, sendo geradas as formas finais dos produtos, para posterior lixamento, polimento e encaminhamento aos processos de tingimento (CARISSIMI; SCHNEIDER, 2010). Cabe salientar que antes de serem encaminhadas para lixamento e polimento as chapas são novamente classificadas de acordo com ao seu tipo de preenchimento.

O emprego de equipamentos dotados de maior evolução tecnológica, tem sido estudado e, em alguns casos, utilizado como alternativas para maior agregação de valor aos materiais. Como exemplos podem ser citados o corte a jato d'água (BARP; FERREIRA; NEIS, 2010; CIDADE; DUARTE; KINDLEIN JÚNIOR, 2011; SILVEIRA, 2011), o fresamento em equipamentos de usinagem em alta velocidade (TESSMANN, 2009; GREVE et al, 2011; DUARTE et al. 2010) e a gravação a laser (CIDADE, 2012; DUARTE et al., 2010; SILVA; HARTMANN; HAUSCHILD, 2010).

Outra forma de agregação de valor com grande difusão na indústria de beneficiamento de ágata é o tingimento. Considerando a baixa atratividade das peças na coloração natural, geralmente acinzentada, são utilizados processos térmico-químicos, baseados no emprego de reagentes que, em combinação com a temperatura de operação, resultam na impregnação de colorantes e na fixação da cor desejada. A seleção dos processos de coloração está intimamente ligada às características do

material gemológico, à finalidade da mesma e ao interesse de mercado (BRUM; SILVA, 2010).

Basicamente dois tipos processos de tingimento da ágata, por impregnação, são desenvolvidos: utilizando colorantes orgânicos ou inorgânicos. Nos processos utilizando colorantes orgânicos, geralmente, é necessária somente a imersão das peças nos compostos para que estes sejam fixados nas peças. Cabe salientar que, em alguns casos, são utilizados processos de aquecimento moderado para redução do tempo de exposição e tingimento das peças. Já nos processos inorgânicos sais metálicos são utilizados como base, sendo necessária uma sequência de reações térmico-químicas para a sua realização.

Os dois tipos processos de tingimento de ágata utilizados apresentam como importantes diferenças as tonalidades e a vivacidade das cores, bem como a condição de estabilidade dos resultados obtidos. Enquanto materiais oriundos dos processos utilizando colorantes orgânicos sofrem forte interferência e degradação sob ação de radiação ultravioleta, os do inorgânico apresentam maior estabilidade de cor (SILVA, 2006; BRUM; SILVA, 2010).

Devido à característica de estabilidade de cor proporcionadas pelos pigmentantes e ao emprego, geralmente sob radiação solar ultra-violeta, dos riodacitos extraídos e beneficiados na região de Nova Prata a serem tingidos neste estudo, apenas os efluentes oriundos dos processos de tingimento inorgânico de ágata foram utilizados para o estudo.

2.4 Processos de impregnação

Assim como no beneficiamento da ágata, processos de impregnação têm sido utilizados para alteração de características de materiais e produtos nos mais diferentes ramos de indústrias – de alimentos, de beneficiamento de madeiras, química, médica, farmacêutica e aeronáutica, entre outros. Para que a impregnação seja possível, faz-se necessária a existência de permeabilidade, ou porosidade, nos materiais receptores, que permita que outros compostos ou componentes sejam incorporados (RIGBY; FLETCHER; RILEY, 2003).

Dois tipos básicos de processos são utilizados para o desenvolvimento dos processos de impregnação: processos por simples imersão ou banho – quando as condições de absorção ou adsorção dos materiais impregnantes e a serem impregnados assim o permitirem – e mediante a utilização de mecanismos de impregnação forçada – para a viabilização ou aceleração da inserção dos compostos nos materiais a serem impregnados.

Considerando as características físicas dos materiais beneficiados, os processos utilizados e a finalidade da impregnação, além dos da ágata, os processos de beneficiamento de madeira apresentam particularidades passíveis de utilização, ante adequação, para o desenvolvimento do trabalho proposto em Basalto Carijó.

2.4.1 Processos de impregnação em madeira

Sistemas descritos por Mendes e Alves (1988) para o beneficiamento de madeira, assim como os descritos anteriormente para o beneficiamento de ágata, dão uma dimensão dos processos e das diversas combinações de técnicas utilizadas.

Os Quadros 1 e 2 apresentam alguns dos métodos descritos por Mendes e Alves (1988) para impregnação de compostos na madeira. No Quadro 1 são descritos os processos sem a utilização de controle de temperatura, pressão e vácuo e no Quadro 2 os processos com a utilização destes.

Cabe salientar que os processos apresentados no Quadro 2 são realizados em autoclave (equipamento dotado de sistemas de aquecimento elétrico ou de serpentinas de vapor) onde os parâmetros de temperatura, vácuo, pressão e tempo são variados/alterados de acordo com o tipo de preservativo e de permeabilidade e espessura da madeira.

Conforme Mendes e Alves (1988) as pressões nos tratamentos de madeira podem variar entre pouco mais de uma atmosfera até 70 kgf/cm², sendo geralmente utilizadas, em autoclaves convencionais, pressões de 14 kgf/cm².

Ainda segundo os autores, as temperaturas envolvidas nos processos variam de acordo com a viscosidade dos preservativos, geralmente mais altas (aproximadamente 90°C) para produtos oleosos e não superiores a 60°C em hidrossolúveis. Não é

aconselhada utilização de temperaturas superiores a 110°C para que não sejam afetadas as propriedades físico-mecânicas da madeira.

Quadro 1 – Métodos de impregnação para o tratamento de madeira sem utilização de controle de temperatura e de pressão e vácuo

Método	Procedimento simplificado
Simple Imersão (<i>Dipping</i>)	Imersão, por alguns segundos ou minutos, da madeira em solução preservativa.
Imersão de tempo longo	Imersão da madeira por períodos que variam de dias a semanas em solução preservativa.
Banho quente-frio	Imersão da madeira em solução preservativa, aquecida (entre 90°C e 110°C), e posterior imersão das peças no mesmo tipo de solução a temperatura ambiente.

Fonte: adaptado de Mendes e Alves (1988)

Quadro 2 – Métodos de impregnação para o tratamento de madeira com utilização de controle de temperatura e de pressão e vácuo

Método	Procedimento simplificado
Processo Bethell	<ul style="list-style-type: none"> - carregamento da madeira seca; - aplicação e manutenção de vácuo; - injeção e preenchimento da câmara com preservativo; - liberação do vácuo; - aplicação e manutenção de pressão; - liberação da pressão; - retirada do líquido; - aplicação e manutenção de vácuo; - liberação do vácuo.
Processo Rueping	<ul style="list-style-type: none"> - carregamento da madeira seca; - aplicação e manutenção de pressão; - injeção e preenchimento da câmara com preservativo; - aumento e manutenção da pressão; - liberação da pressão; - retirada do líquido; - aplicação e manutenção de vácuo; - liberação do vácuo.
Processo Lowry	<ul style="list-style-type: none"> - carregamento da madeira seca; - injeção e preenchimento da câmara com preservativo; - aplicação e manutenção de pressão; - liberação da pressão; - retirada do líquido; - aplicação e manutenção de vácuo; - liberação do vácuo.
Processo MSU	<ul style="list-style-type: none"> - carregamento da madeira seca; - aplicação e manutenção de pressão; - injeção e preenchimento da câmara com preservativo com manutenção da pressão; - aumento e manutenção da pressão; - aumento e manutenção da temperatura; - retirada do líquido e diminuição gradual da temperatura com manutenção da pressão; - injeção e manutenção de água quente ou vapor d'água na câmara; - retirada da água quente ou vapor d'água com manutenção da pressão; - liberação da pressão; - aplicação e manutenção de vácuo; - liberação do vácuo.

Fonte: adaptado de Mendes e Alves (1988)

2.4.2 Tingimento inorgânico da ágata

Os processos de tingimento, desenvolvidos e utilizados em Idar-Oberstein, histórico centro alemão de beneficiamento de ágata, apesar da sua utilização desde o século XIX, começaram a ter a sua divulgação feita a partir do início do século XX pelo Dr. O. Dreher (SILVA, 2006).

Baseados nas informações divulgadas pelo Dr. O. Dreher (SILVA, 2006), os processos para obtenção das colorações vermelha, azul e verde baseiam-se, desde então, na impregnação e posterior reação térmico-química dos elementos colorantes óxido de ferro, ferrocianeto ou ferricianeto de potássio e cromo hexavalente, respectivamente.

Diferentes compostos, utilizados para a obtenção de cada um dos princípios colorantes e das suas tonalidades, podem ser identificados junto às empresas. Da mesma forma, devido aos diferentes sistemas de impregnação utilizados, existem variações em termos de prazos e sistemas complementares necessários para a concretização das colorações. Considerando a toxicidade dos compostos contendo cianeto e cromo hexavalente utilizados e resultantes dos processos de tingimento inorgânico azul e verde de ágata, respectivamente, serão enfocados, neste trabalho, apenas os processos de tingimento vermelho.

2.4.2.1. Processos de tingimento inorgânico vermelho

Para obtenção da coloração vermelha duas formas são descritas. Conforme descrito por Roisenberg e Vilasbôas (2010) e Silva (2006), as peças de ágata devem ser imersas em solução de ácido nítrico, ferro e corante (perclorato) durante 6-15 dias, se a frio, ou 2-5 dias sob aquecimento. Após as peças são retiradas, lavadas com água e levadas ao forno a temperaturas entre 150°C e 240°C por dois dias. Para finalização, é efetuada a lavagem, com água e *xispa* (composto de ácidos inorgânicos como clorídrico, fluorídrico e sulfônico) para que seja “aberto o brilho” das peças.

Como forma alternativa, conforme Knecht (1957) *apud* Silva (2006), as peças devem ser imersas em solução de nitrato de ferro de uma a quatro semanas (dependendo da espessura - até 10 mm - destas). Posteriormente as peças deverão ser secas em estufa durante dois ou três dias. Após a retirada da estufa, as peças deverão ser acondicionadas em recipiente fechado contendo areia fina ou asbestos ou óxido de

magnésio, e levada ao forno para queima. A elevação da temperatura da recipiente contendo as peças deverá ser feita lentamente até atingir o rubro, devendo o material ser retirado do interior deste somente após o seu completo resfriamento.

De forma geral, os efluentes gerados pelos processos de tingimento inorgânico vermelho, basicamente, apresentam significativa acidez e alta concentração de ferro (CARISSIMI; SCHNEIDER, 2010).

2.5 Análise de investimento

As análises de investimento buscam, através do estudo da relação dos fluxos financeiros de entrada e saída previstos, atualizados monetariamente, minimizar os riscos, possibilitar a mensuração da probabilidade de sucesso no empreendimento e, conseqüentemente, permitir a tomada de decisão rentável.

Motta e Calôba (2002) definem que o desafio, em estudos desta natureza, consiste em definir as alternativas de investimento buscando a prever as conseqüências financeiras destes de maneira mais precisa possível, considerando espaço temporal determinado e o valor do dinheiro neste período.

Dentre as diversas ferramentas utilizadas pelo mercado, Galesne, Fensterseifer e Lamb (1999) e Motta e Calôba (2002), citam o Tempo de Recuperação do Capital – *payback* – e os critérios de rentabilidade tradicionais, baseados nos métodos dos fluxos de caixa descontados (Valor Presente Líquido – VPL, Índice de Lucratividade – IL e Taxa Interna de Retorno – TIR).

Apesar da possibilidade de serem estimadas ou previstas as conseqüências financeiras a partir da utilização de ferramentas de análise de investimento, Cerbasi e Paschoarelli (2007) salientam que projetos considerados economicamente viáveis, por serem utilizadas informações projetadas sobre os fluxos de caixa, poderão fracassar pela sua não concretização. Considerando isto, ainda segundo os autores, quanto maior a incerteza envolvida na projeção dos fluxos de caixa, maior o risco envolvido no projeto e maiores os retornos, conforme regras de mercado, exigidos pelos investidores.

2.5.1 Tempo de recuperação do capital – *payback*

Segundo Galesne, Fensterseifer e Lamb (1999) o critério de tempo de recuperação do capital – *payback* - permite o cálculo sobre o prazo necessário para que seja auferido valor equivalente ao valor desembolsado para a realização de um projeto, possibilitando a comparação entre possíveis investimentos e escolhido, conforme regra usual de mercado, aquele que apresentar menor prazo de retorno.

Cabe salientar que para o cálculo do *payback* é utilizado o somatório das receitas líquidas, ou seja, os resultados após o desconto dos custos operacionais.

2.5.2 Taxa interna de retorno – TIR

Utilizada como forma de mensuração de retorno, complementarmente ao *payback*, segundo Motta e Calôba (2002) a TIR é um índice relativo que representa a rentabilidade do investimento, em percentual, por unidade de tempo, a partir das previsões ou estimativas de receitas a serem alcançadas a partir dos investimentos efetuados.

A TIR é utilizada como taxa comparativa com a *taxa mínima de atratividade* (TMA) do mercado, ou seja, a taxa mínima a ser recebida pelo investidor no mercado ou a taxa máxima de juros a ser paga, no caso de um empréstimo, para que seja verificada a viabilidade econômica do projeto. A TMA varia de acordo com o custo de oportunidade, liquidez e risco envolvido no negócio, sendo determinada pelo investidor.

Sendo a TMA menor que a TIR, o investimento é considerado como “economicamente viável”. Sendo igual, torna-se indiferente a aplicação no projeto ou no mercado. E, finalmente, sendo maior, é sinalizada a “inviabilidade econômica” do projeto (MOTTA; CALÔBA, 2002).

2.5.3 Valor presente líquido – VPL

Outro critério de avaliação utilizado é o valor presente líquido (VPL) dos fluxos de caixa previstos ou estimados. Para que seja possível a determinação do VPL, é aplicada taxa de desconto equivalente à TMA, também utilizada para cálculo da TIR, sobre os

fluxos líquidos de caixa previstos ou estimados, trazendo-os a valor presente (GALESNE, FENSTERSEIFER; LAMB, 1999).

Conforme Motta e Calôba (2002), se o VPL dos fluxos de caixa líquido for maior que o investimento, o projeto é considerado como alternativa “economicamente viável”. Sendo igual, torna-se indiferente a aplicação no projeto ou no mercado. E, finalmente, sendo menor, é sinalizada a “inviabilidade econômica” do projeto.

2.5.4 Índice de lucratividade – IL

Atuando de forma complementar ao cálculo do VPL, segundo Galesne, Fensterseifer e Lamb (1999), o índice de lucratividade (IL) possibilita a comparação da lucratividade relativa entre o valor investido e o valor presente das entradas líquidas de caixa.

Para determinação do IL, é efetuado cálculo de proporção entre o VPL dos fluxos de caixa descontados e o investimento ($VPL / \text{investimento} = IL$). Sendo o VPL superior ao investimento, a diferença do resultado e 1 representará a lucratividade total estimada para o projeto (GALESNE, FENSTERSEIFER, LAMB, 1999).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Por conterem princípios colorantes ainda ativos (ainda que não em concentração que permita a sua reutilização nos processos originais) foi considerado que os efluentes provenientes dos processos de tingimento inorgânico de ágata possuem condições de (re)utilização para o tingimento de outros materiais, entre eles o Basalto Carijó proveniente da “Região do Basalto”. A partir da premissa de possibilidade foi desenvolvida metodologia para a verificação das reais condições existentes. Para tanto foram desenvolvidos estudos, análises e experimentos para caracterização da rocha e do efluente, bem como o desenvolvimento e experimentação, em laboratório, de processos baseados nos de beneficiamento de madeira e ágata. Ao final foi efetuado o dimensionamento da viabilidade de investimento para a execução dos processos junto à indústria e análise dos resultados gerais obtidos.

3.1 Caracterização do basalto carijó

Para caracterização e desenvolvimento dos experimentos foram adquiridas três placas de riodacito. Uma de 95 cm x 60 cm x 2 cm (largura x comprimento x espessura), outra de 74 cm x 11 cm x 2 cm e a terceira de 45 cm x 15 cm x 2 cm, todas com uma das faces polida, provenientes da região de Nova Prata. Todas as placas foram mapeadas e cortadas em peças de 3 cm x 3 cm, sendo gerados 425 corpos de prova a partir da placa maior e 93 a partir das duas menores, totalizando 518 peças.

Foram efetuadas análises petrográfica – petrografia; de microscopia eletrônica de varredura - MEV; e de microanálise química quantitativa e semiquantitativa por dispersão de raios-X – EDS.

3.1.1 Caracterização por petrografia

Para caracterização mineralógica e textural dos riodacitos foi realizada análise petrográfica utilizando microscopia ótica, em microscópio petrográfico da marca Leitz, lâminas delgadas com espessura de 30 µm montadas sobre vidro sendo utilizados aumentos da ordem de 10 e 40 vezes, com luz transmitida e polarizada. Também foram obtidas fotomicrografias, em luz transmitida e polarizada, equipamento Leica, com

magnificação da imagem utilizando as lentes aumentos da ordem de 2,5; 5; 10; e 50 vezes e câmera da marca Sony, modelo 3CCD, acoplada. A caracterização e obtenção das fotomicrografias foi feita utilizando microscópios do Departamento de Mineralogia e Petrologia da UFRGS/Instituto de Geociências.

3.1.2 Caracterização por microscopia eletrônica de varredura

De forma a complementar as informações sobre microtextura da rocha, as lâminas delgadas foram analisadas também por microscopia eletrônica de varredura. A análise visou caracterização superficial dos materiais bem como a verificação da existência de sítios propícios à impregnação dos compostos colorantes. A técnica analítica apresenta capacidade máxima de aumento de ordem superior a 300.000 vezes com a manutenção da profundidade de campo compatível com a observação de superfícies rugosas (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007), vantagens com relação à facilidade de preparação das amostras e por caracterizar-se por uma técnica não destrutiva (SOARES; SARON, 2010).

Para as análises das lâminas delgadas do riodacito, foi utilizado microscópio eletrônico de varredura, marca Hitachi®, modelo TM 3000 com capacidade de aumento de 30.000 vezes disponível junto ao Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Este equipamento opera sem a necessidade de metalização das amostras.

3.1.3 Microanálise química quantitativa e semiquantitativa por dispersão de raios-X – EDS

Para a caracterização da composição química dos minerais que compõem rocha foram efetuadas análises químicas por dispersão de raios-X. Através destas podem ser determinadas quantidades de até 1-2% dos elementos presentes na amostra e a determinação da composição desta em áreas de diâmetro micrométrico (1 μm) (MALISKA, [s.d.]). Dedavid, Gomes e Machado (2007) salientam que apesar de ser possível a mensuração dos elementos químicos nas amostras, devido a diversos fatores como a natureza dos outros elementos presentes junto aos a serem quantificados e a geometria da superfície da amostra, entre outros, este tipo de análise é considerado semiquantitativo.

Para as análises foram utilizados espectrômetro por energia dispersiva (EDX / EDS) acoplado ao microscópio eletrônico de varredura localizado junto ao LdSM e lâminas delgadas.

3.2 Caracterização dos efluentes

Considerando aspectos relacionados à toxicidade dos efluentes compostos por cianeto e cromo hexavalente e os riscos inerentes ao manuseio destes, bem como pelo desconhecimento, pelo autor, de processo semelhante desenvolvido para o tingimento de rochas ígneas, foi optado pelo desenvolvimento dos experimentos utilizando somente efluentes provenientes dos processos de tingimento inorgânico vermelho de ágata, contendo ferro.

Para caracterização do efluentes utilizados foram efetuadas análises por espectrometria de absorção atômica – para a verificação da concentração do íon metálico – e de condutividade elétrica, além da determinação do pH.

Cabe salientar que devido ao tingimento da ágata ser desenvolvido em bateladas, volumes limitados de efluentes são gerados a cada processo. Considerando a flexibilidade nos controles para desenvolvimento dos processos em termos de concentrações de fluídos tingidores e de volumes de materiais tingidos, presumidamente, concentrações diferenciadas devem ser encontradas em diferentes lotes de efluentes. Desta forma, todos os lotes utilizados nos processos foram analisados, caracterizados e identificados para posterior verificação da interferência das variações nos resultados dos processos de tingimento de riodacitos.

3.2.1 Análise dos constituintes dos efluentes por espectrometria de absorção atômica

Para a análise dos constituintes dos efluentes utilizados estes tiveram seus elementos e concentrações determinados. Dentre as análises disponíveis, a espectrometria de absorção atômica destaca-se por ser uma técnica amplamente difundida para a determinação de elementos traço nas mais diferentes amostras (BORGES et al., 2005).

Foi utilizado, para análise dos efluentes, espectrofotômetro de absorção atômica com geração de hidretos marca PerkinElmer®, modelo AAnalyst 100, disponível junto à Central Analítica / Unianálises do Centro Universitário UNIVATES.

Antes da realização das análises por espectrometria de absorção atômica, as amostras tiveram seus elementos suspensos separados, utilizando filtro livre de metais com diâmetro de poro entre 0,4 e 0,45 μm , previamente enxaguado com 50 ml de água de Milli-Q. O efluente filtrado foi encaminhado para análise espectrométrica tendo sido diluído, de acordo com a necessidade, utilizando água de Milli-Q. Os materiais particulados retidos passaram por digestão ácida para determinação da representatividade dos metais suspensos no total da amostra.

Para análise do material particulado filtrado, o filtro foi enxaguado com 0,5N HCl ou 1N HNO₃ e o material proveniente do enxague reservado. Para digestão foi utilizado frasco ou copo de becker onde 100 ml de material homogeneizado proveniente do enxague, sob aquecimento em chapa, e adição de 5 ml de HNO₃ concentrado. O recipiente foi coberto com vidro de relógio para minimização da contaminação por elementos volatilizados, conforme apresentado por Eaton et al. (2005).

A amostra foi evaporada até atingir o menor volume possível (entre 10 e 20 ml) antes da ocorrência de precipitação. A adição de ácido nítrico e a manutenção do aquecimento foram continuadas até que a completa digestão, identificada pelo clareamento da solução, conforme apresentado por Eaton et al. (2005).

O material proveniente da digestão foi encaminhado para análise espectrométrica. Foram contabilizados/controlados os volumes de efluente x particulado retido x volume de enxaguante para determinação proporcional das concentrações da amostra (EATON et al., 2005).

3.2.2 Análise da condutividade elétrica dos efluentes

A condutividade elétrica se refere à capacidade de determinado material em conduzir corrente elétrica. Nos líquidos esta se deve à existência de íons, ânions ou cátions, dissolvidos (EATON, 2005). A mensuração da presença de íons dissolvidos permite que seja estimado o potencial de contaminação dos compostos (ZUIN;

IORIATTI; MATHEUS, 2009) dada a capacidade destes de danificar a estrutura das proteínas formadoras das enzimas metabólicas nos seres vivos (VAGHETTI, 2009).

Para análise de condutividade elétrica dos efluentes foi utilizado condutivímetro marca Metrohm®, modelo 856, disponível junto ao Laboratório de Análise Instrumental do Centro Universitário UNIVATES.

3.2.3 Determinação de pH dos efluentes

A determinação de pH é um dos mais importantes e frequentes testes na química de líquidos. Praticamente todas as fases de tratamento de águas e efluentes são dependentes do pH (EATON et al, 2005), sendo a condição de solubilidade, no caso dos efluentes contendo íons metálicos de ferro, mantida em pH's baixos (meios ácidos).

Para realização das análises foi utilizado pHmetro marca Metrohm®, modelo 827, disponível junto ao Laboratório do Núcleo de Eletrofotoquímica e Materiais Poliméricos do Centro Universitário UNIVATES.

3.3 Caracterização e análise das colorações obtidas após o tingimento

Para avaliação dos resultados obtidos pelo tingimento, foram geradas imagens, antes e depois dos processos, em 600 dpi, da face superior, polida, e de uma das laterais, serrada e não polida, de cada uma das peças, bem como, em alguns casos, das faces geradas pelo corte das amostras. Estas foram analisadas utilizando padrão HSB (Hue - matiz; Saturation - saturação; e Brightness – brilho) para dimensionamento das alterações de coloração obtidas. Para geração das imagens foi utilizado scanner de mesa da marca HP, modelo scanjet 8250. Após a geração das imagens estas tiveram sua resolução alterada para 150dpi para análise utilizando software Adobe Photoshop®.

Cabe salientar que as faces scaneadas foram marcadas para análise posterior e que todas as imagens geradas foram salvas em formato *.bmp* ("true color"), para manutenção da qualidade das informações.

Os processos de análise foram baseados nos experimentos e análises apresentados por Motoki, Vargas e Peixoto (2000), considerando as alterações na matiz (H^0) nos parâmetros HSB. Como exemplos de relações dos parâmetros HSB e suas

respectivas cores no sistema RGB (*red, green, blue*), os autores citam a representação da cor vermelha pura (*red*) como $H=0, S=100, B=100$; da cor amarela pura como $H=60, S=100, B=100$; da cor branca $H=0, S=0, B=100$; e da cor preta $H=0, S=0, B=0$. Para melhor entendimento da evolução dos padrões cromáticos, para melhor análise dos resultados, cabe ainda acrescentar a formação das cores verde pura $H=120, S=100$ e $B=100$ e azul pura $H=240, S=100$ e $B=100$ e que a variação dos parâmetros S e B determina a variação da tonalidade das cores representadas no parâmetro H.

3.4 Processos e equipamentos utilizados para o desenvolvimento dos experimentos

Conforme já apresentado, os experimentos foram realizados utilizando como base os processos de impregnação utilizados nas indústrias de beneficiamento de madeira e ágata, sendo variados/alterados de acordo com os resultados obtidos em cada experimento.

Três fases de experimentação foram desenvolvidas. Na primeira, foram verificadas as condições de tingimento das amostras de rocha por simples imersão, imersão sob vácuo, sob pressão e sob vácuo e pressão de forma alternada. Na segunda e terceira por imersão sob aquecimento e posterior “queima” das peças.

Nas três fases, para cada ensaio, foi utilizado um cubo de rocha de 18 cm³ e 42 cm² de superfície e 100 ml de efluente.

3.4.1 Experimentos – primeira fase

Para os processos de impregnação ou tingimento do “Basalto Carijó”, na primeira fase de experimentação, os parâmetros do ensaio 1 foram estabelecidos aleatoriamente, sendo as fases de experimentos subsequentes determinadas a partir dos resultados obtidos. Um dos pontos fundamentais priorizado foi a utilização de técnicas que minimizassem o processo de volatilização do efluente.

Para os testes iniciais, realizados no mês de agosto de 2012, junto ao LdSM/UFRGS, foram efetuados 10 ensaios utilizando copo de becker e sistema composto por bomba de vácuo e pressão marca Fisatom, modelo 820 – com capacidades de carga instaladas de -1 kgf/cm² e 2 kgf/cm² – e câmara em aço dotada

de manovacômetro analógico marca Salvi – com capacidades de carga de -1 kgf/cm^2 a 3 kgf/cm^2 (Figura 6).

Figura 6 – Bomba de vácuo e pressão e câmara dotada de manovacômetro analógico

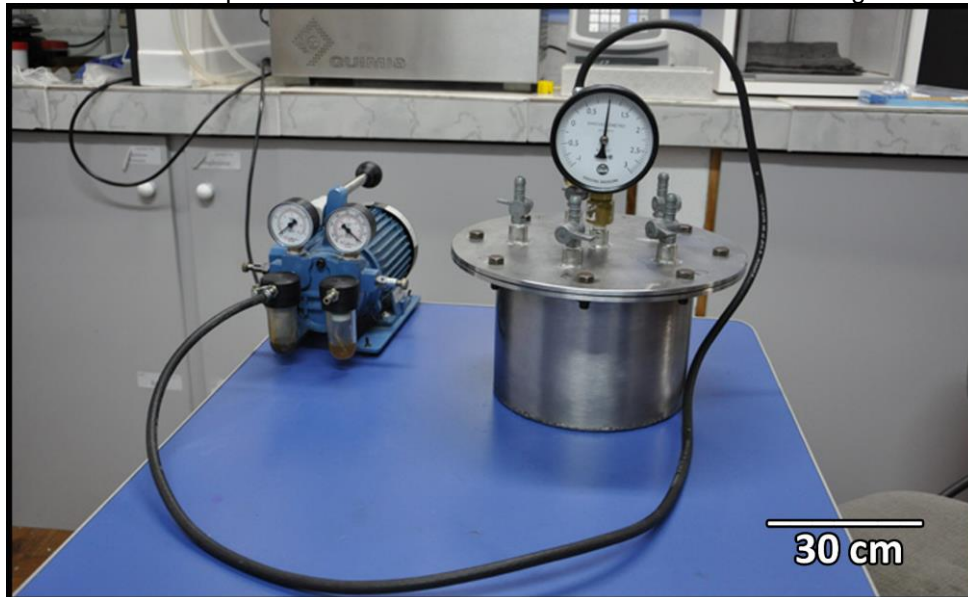


Foto: Tatiana Eder da Rocha Lago

Cabe salientar que, considerando a possibilidade de influência da variável temperatura nos processos e eliminação desta variável nos experimentos iniciais, todos os ensaios foram realizados a frio, sendo mantida a temperatura ambiente em $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

Para os dez ensaios iniciais foi utilizado efluente pertencente ao Lote 1 sendo variadas as estratégias de impregnação nos processos subsequentes de acordo com os resultados obtidos, analisados visualmente. As estratégias utilizadas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Estratégias utilizadas para o desenvolvimento de cada um dos ensaios iniciais

Ensaio	Peça/amostra	Tempo	Pressão (kgf/cm ²)	Vácuo (kgf/cm ²)	Pressão (kgf/cm ²)
1	Q7	30 min	0	- 0,85	0
2	Q16	60 min	0	- 0,85	0
3	Q6	90 min	0	- 0,85	0
4	Q1	30 min	1	0	0
5	Q2	60 min	1	0	0
6	Q3	90 min	1	0	0
7	Q20	24h	0	- 0,85	0
8	Q22	96h	0	0	0
9	Q23	24h/72h	0	- 0,85	1
10	Q21	240h	0	0	0

3.4.2 Experimentos – segunda fase

Na segunda fase de experimentos, considerando os resultados obtidos na fase anterior, os testes foram realizados utilizando processo semelhante ao do beneficiamento da ágata em processos de tingimento inorgânico. Para estes, em algumas indústrias, os recipientes contendo as peças imersas no colorante são aquecidos em banho-maria dentro de tonéis metálicos colocados sobre chama de fogo à lenha direta, conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Estrutura, utilizada para o desenvolvimento dos processos de tingimento inorgânico de ágata, contendo estrutura para suporte dos tonéis metálicos e queima da lenha e três tonéis metálicos onde são imersos os geodos e/ou chapas de ágata



Para os experimentos foram utilizados efluente do Lote 2, cadinho de porcelana e forno elétrico marca Zezimaq (Figura 8) disponíveis no Laboratório do Núcleo de Eletrofotocímica e Materiais Poliméricos do Centro Universitário UNIVATES. Os três ensaios realizados simularam as condições de temperatura dos processos de tingimento inorgânico de ágata observados junto a empresas localizadas na cidade de Soledade – RS, sob aquecimento a 90°C, sendo nestes alterados os parâmetros da variável tempo: meia hora, uma hora e uma hora e meia após a estabilização da temperatura do forno.

Figura 8 – Utensílios e equipamentos: (a) cadinho de porcelana com amostra imersa em efluente e (b) forno marca Zezimaq utilizados na segunda fase de experimentos



Antes da imersão das peças, em cada ensaio, o efluente foi preaquecido à temperatura de realização do experimento (90°C) e a cronometragem do tempo iniciada a partir da reestabilização da temperatura do equipamento.

Concluídos os processos de tingimento, as amostras de rocha foram serradas ao meio, utilizando serra Multimachine da marca Lapidart dotada de disco diamantado (Figura 9) disponível junto ao LdSM – UFRGS.

Figura 9 – Utensílios e equipamentos: multimachine da marca Lapidart dotada de disco diamantado



Fonte: Lapidart – Tecnologia em Lapidação

Após o corte, uma metade de cada amostra foi levada novamente ao forno, sem efluente, para “queima”, por 8 horas sob temperatura de 200°C – processo idêntico ao utilizado na indústria para intensificação e fixação da cor nos processos com ágata.

3.4.3 Experimentos – terceira fase

A partir dos resultados auferidos na segunda, nova fase de ensaios foi desenvolvida. Nesta foi experimentada adaptação de processos utilizados no tingimento orgânico da ágata, com temperatura menos elevada (40°C) e tempos de exposição semelhantes, para verificação das tonalidades, e superiores, para impregnação, aos utilizados na fase anterior.

Para os novos ensaios foi utilizada câmara constituída de caixa de madeira reaproveitada de *pallet*, revestida com placas de polipropileno (PP) e dotada de lâmpada incandescente de 60W marca Phillips (Figura 10) e recipientes poliméricos – simulando câmara (carcaça de refrigerador ou freezer dotada de lâmpadas incandescentes) e recipientes utilizados nos processos de tingimento orgânico para beneficiamento de ágata (Figura 11).

Figura 10 – Câmara constituída de caixa de madeira reaproveitada de *pallets*: (a) parte interna revestida com placas de polipropileno e dotada de lâmpada incandescente de 60W marca Phillips e (b) parte externa

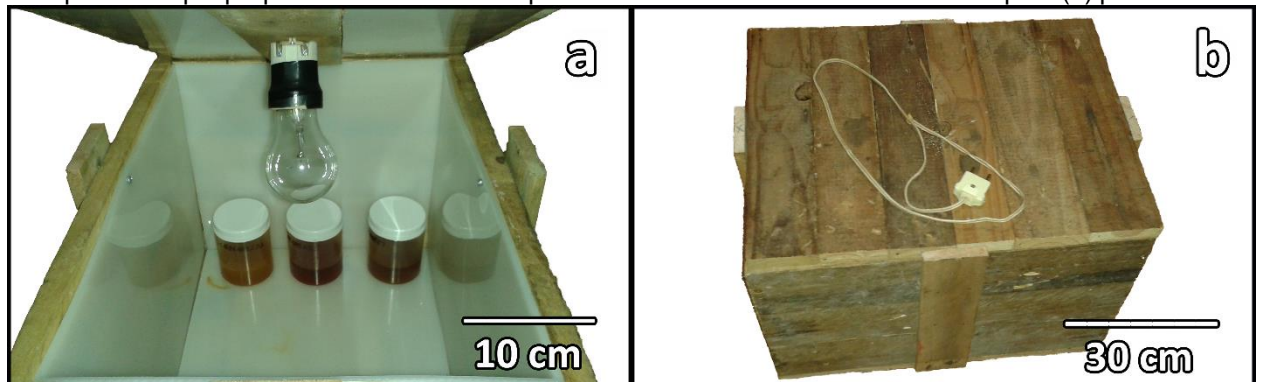
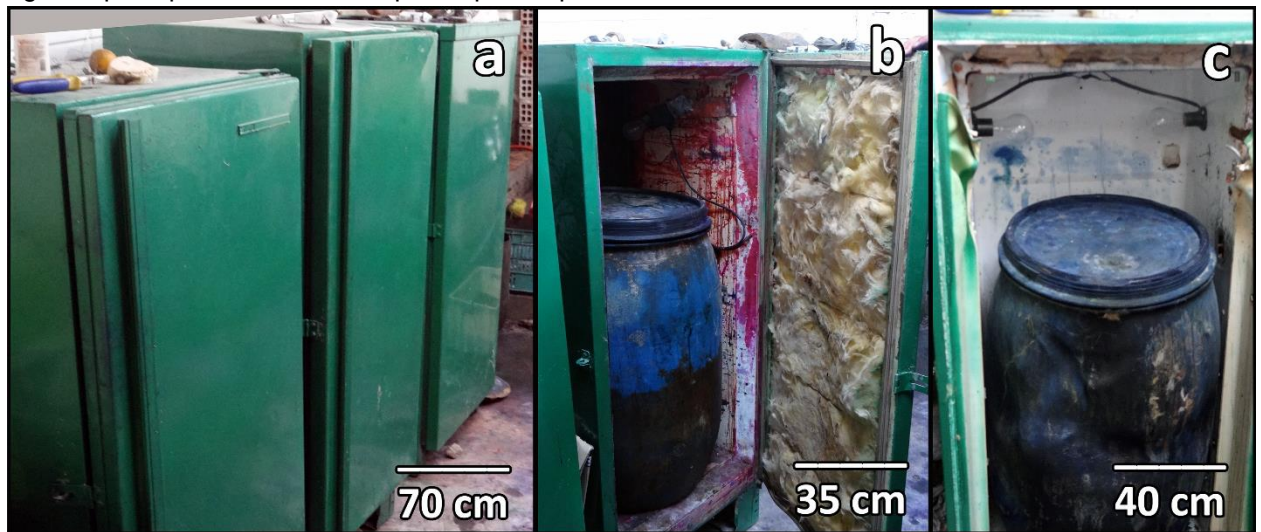


Figura 11 – Equipamentos e utensílios: (a) carcaças de refrigeradores/freezers utilizados nos processos de tingimento orgânico de ágata; (b) carcaça de refrigerador contendo bombona polimérica com peças de ágata e princípio colorante; e (c) carcaça de refrigerador contendo bombona polimérica com peças de ágata e princípio colorante e lâmpadas para aquecimento



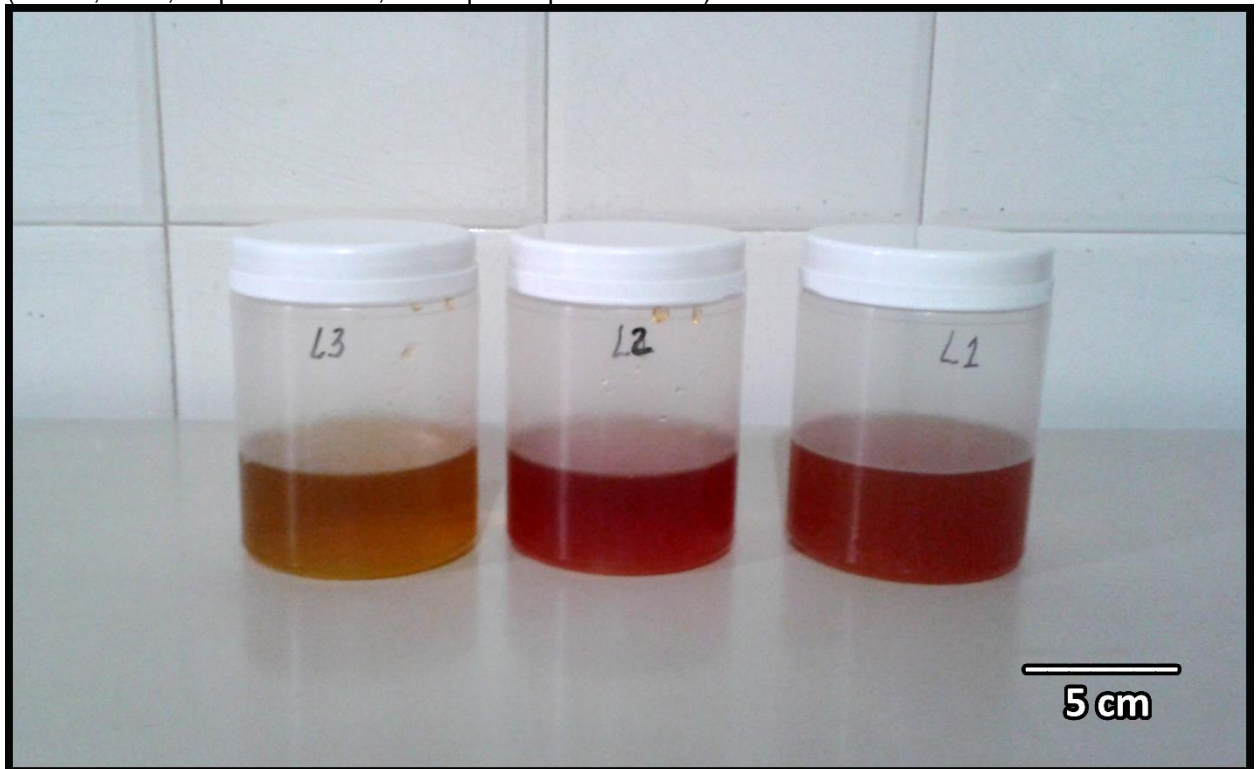
Assim como nos experimentos da fase dois, em cada um dos experimentos, as peças foram imersas no efluente após o seu preaquecimento. Considerando a impossibilidade de controle de temperatura em ambientes adaptados como o utilizado, os volumes individuais de efluente (100ml) foram preaquecidos, neste, por duas horas antes da imersão das amostras de rocha.

Para comparação dos resultados com os auferidos na segunda fase, sob aquecimento, e na primeira fase, por simples imersão e sob vácuo e pressão, foram realizados ensaios com 1 hora, 1 e meia, 24 e 72 horas de duração.

Considerando as possíveis diferenças de concentração de efluentes, além da variação do tempo de exposição da rocha, também foram utilizados efluentes de 3 diferentes concentrações – Lote 3, Lote 2 e Lote 1 (Figura 12) – em cada um dos experimentos realizados.

Assim como nos experimentos da segunda fase, após o contato das amostras de rocha com o efluente, estas foram serradas ao meio e uma das suas metades queimadas em forno, a 200°C por 8 horas.

Figura 12 – Recipientes poliméricos utilizados nos experimentos da fase 3 com efluentes dos três lotes (lotes 3, 2 e 1, respectivamente, da esquerda para a direita)



3.5 Análise de investimento

As análises de investimento, devido aos processos burocráticos e exigências envolvidas na autorização e dos riscos inerentes ao transporte de efluentes líquidos, tomam como padrão a execução dos processos junto às empresas geradoras do efluente e não junto às empresas de beneficiamento do basalto.

Após a finalização das três fases de experimentos, foram comparados visual e graficamente os resultados obtidos, bem como as possíveis necessidades de investimento, pelas empresas de beneficiamento de ágata, para o desenvolvimento dos processos em escala industrial. Também foram verificados os valores de comercialização de peças de Basalto Carijó na cor natural e estimados valores passíveis de serem auferidos.

Utilizando os dados de investimento, custos de produção e estimativas dos valores passíveis de serem auferidos foram calculados o tempo de retorno do capital – *payback* – e a Taxa Interna de Retorno – TIR) abordados por Galesne, Fensterseifer e Lamb (1999) e Motta e Calôba (2002). Não foram calculados o Valor Presente Líquido –

VPL e o Índice de Lucratividade – IL dado o baixo investimento e rápido retorno deste verificados.

Cabe salientar que para o cálculo do tempo de retorno do capital e da TIR foram simulados volumes de produção e utilizadas, como parâmetro de comparação, taxas de remuneração de capital atualizadas desconsiderando a tributação em ambos os casos, para as duas indústrias, do basalto e da ágata, envolvidas.

4. RESULTADOS

Conforme metodologia apresentada no capítulo anterior, os trabalhos foram iniciados pelas análises e caracterização da rocha e do efluente. Após, foram efetuados os ensaios de tingimento que, a partir de avaliações visuais/qualitativas iniciais, tiveram sua evolução programada e desenvolvida para posterior reavaliação, quantitativa, através da análise do padrão HSB.

A partir dos resultados obtidos nas análises qualitativas e quantitativas e a determinação do processo com melhores resultados, foi desenvolvida a análise de investimento.

Os resultados obtidos em cada etapa e as respectivas análises são apresentados neste capítulo do trabalho.

4.1 Análises da rocha

A análise petrográfica das amostras de rocha permitiu a classificação como vulcânica, de cor cinza com manchas brancas e de aspecto homogêneo. Microscopicamente foi verificado arranjo textural microporfirítico com raros microfenocristais (0,6 a 1,5 mm) e micrólitos (0,05 a 0,20 mm) que, com frequência apresentam terminações em rabo de andorinha, típicas de rochas vítreas. A matriz é constituída por agregado complexo quartzo-feldspático, amplamente dominante em volume, e vidro vulcânico, com ninhos de desvitrificação de caráter esferolítico e sub micrográfico.

Os microfenocristais são de plagioclásio (pl), clinopiroxênio (cpx) e minerais metálicos, enquanto os micrólitos apresentam composições semelhantes, sendo acrescentadas a apatita e a hornblenda. Os minerais de alteração, compostos por argilominerais e óxido de ferro, compõem parcela diminuta, dado o incipiente grau de alteração da rocha.

Os microfenocristais de plagioclásio constituem indivíduos ripiformes zonados com maclamentos polissintéticos, aspecto límpido e limites nítidos, possuindo, por vezes, evidências de processos de alteração ao longo das microfraturas. Os micrólitos

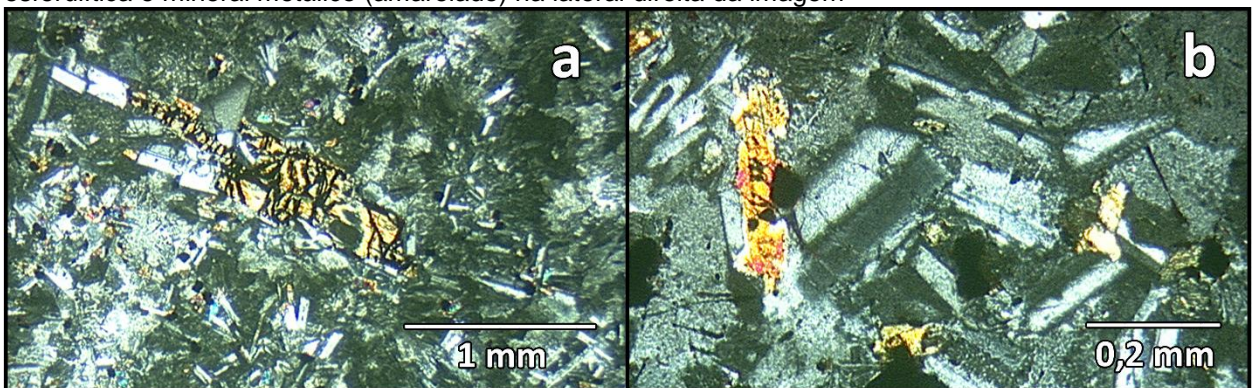
aparecem como cristais incolores, geralmente com desenvolvimento incompleto, aparecendo muitas vezes ocos e com maclamentos pouco nítidos.

O clinopiroxênio, sob a forma de microfenocristais, são subédricos a euédricos, com aspecto turvo e cores acastanhadas, à luz natural, decorrentes da argilização de intensidade moderada a forte, provocando, não raro, completa substituição por argilominerais, pigmentados por óxido de ferro, que se concentram nas microfraturas e clivagens. Os micrólitos de piroxênio são subédricos e ocorrem com alteração bem menos acentuada.

Com relação aos demais micrólitos, a apatita consiste em raros e minúsculos cristais aciculares incolores, disseminados na matriz e o anfibólio constitui diminutos cristais de hornblenda verde a marrom.

Fotomicrografias, realizadas em lâminas delgadas do material, indicam os constituintes acima descritos (Figura 13).

Figura 13 – Fotomicrografias do riódacito. (a) fotomicrografia em luz polarizada (LP), com destaque para microfenocristal de clinopiroxênio subédrico microfraturado (acastanhado) e plagioclásios límpidos em matriz vítrea e textura esferulítica; (b) fotomicrografia em luz polarizada (LP) com destaque para micrólitos de clinopiroxênio subédrico microfraturado (acastanhado), plagioclásios límpidos em matriz vítrea e textura esferulítica e mineral metálico (amarelado) na lateral direita da imagem



A matriz é amplamente dominante em volume e envolve totalmente as demais fases cristalinas. Possui composição quartzo-feldspática, formando um feltro complexo de caráter micrográfico intercalado com partes sub-vítreas e com desvitrificação parcial, gerando agregados com arranjo esferulítico.

Os argilominerais são dominantes como fases de alteração, derivando do piroxênio e do vidro vulcânico, no primeiro caso com aspecto ferruginoso em decorrência da pigmentação por óxidos de ferro.

Os minerais metálicos possuem contorno esponjoso, exibindo forte oxidação, gerando um halo ferruginoso que se projeta nas discontinuidades adjacentes. Os óxidos de ferro constituem massas micro a criptocristalinas de coloração avermelhada e aspecto ferruginoso, derivadas a partir dos minerais metálicos e do piroxênio, projetando-se nas discontinuidades adjacentes.

Análises da matriz utilizando espectrômetro por energia dispersiva (EDX / EDS) possibilitaram a identificação dos principais componentes da matriz, corroborando com os resultados das análises petrográficas apresentadas.

As Figuras 14 e 15 apresentam as imagens eletrônicas de varredura do riódacito, sendo os pontos específicos demarcados, para as análises feitas por EDS. Nestas podem ser identificadas presença de silício além de outros elementos como potássio, sódio e alumínio, e em alguns casos, ferro e magnésio, em proporções diversas.

Figura 14 – Imagem eletrônica de varredura da matriz do riódacito e espectros EDS: (a) imagem da matriz do riódacito com marcação dos três pontos analisados; (b) espectro de análise do ponto 1 apontando a presença de potássio, sódio, alumínio e silício; (c) espectro de análise do ponto 2 apontando a presença de potássio, ferro, sódio, alumínio e silício; e (d) espectro de análise do ponto 3 apontando a presença de potássio, ferro, sódio, alumínio e silício.

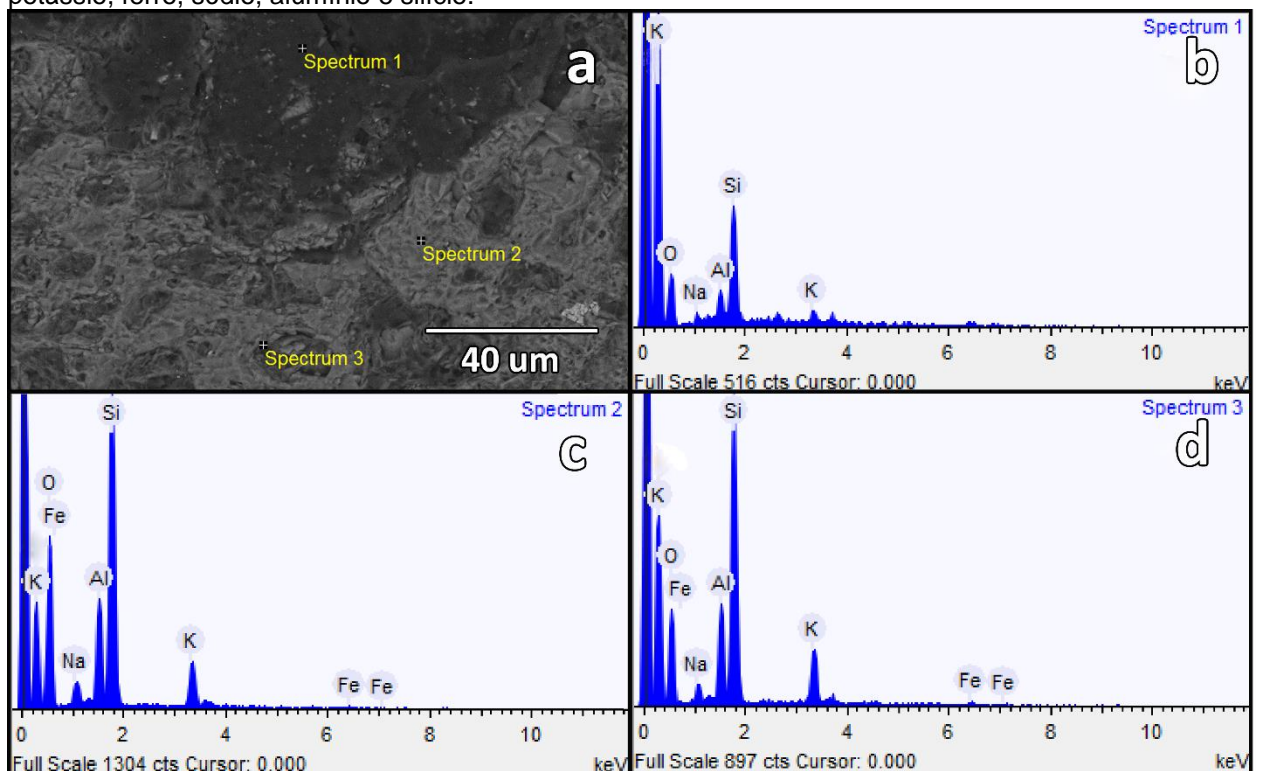
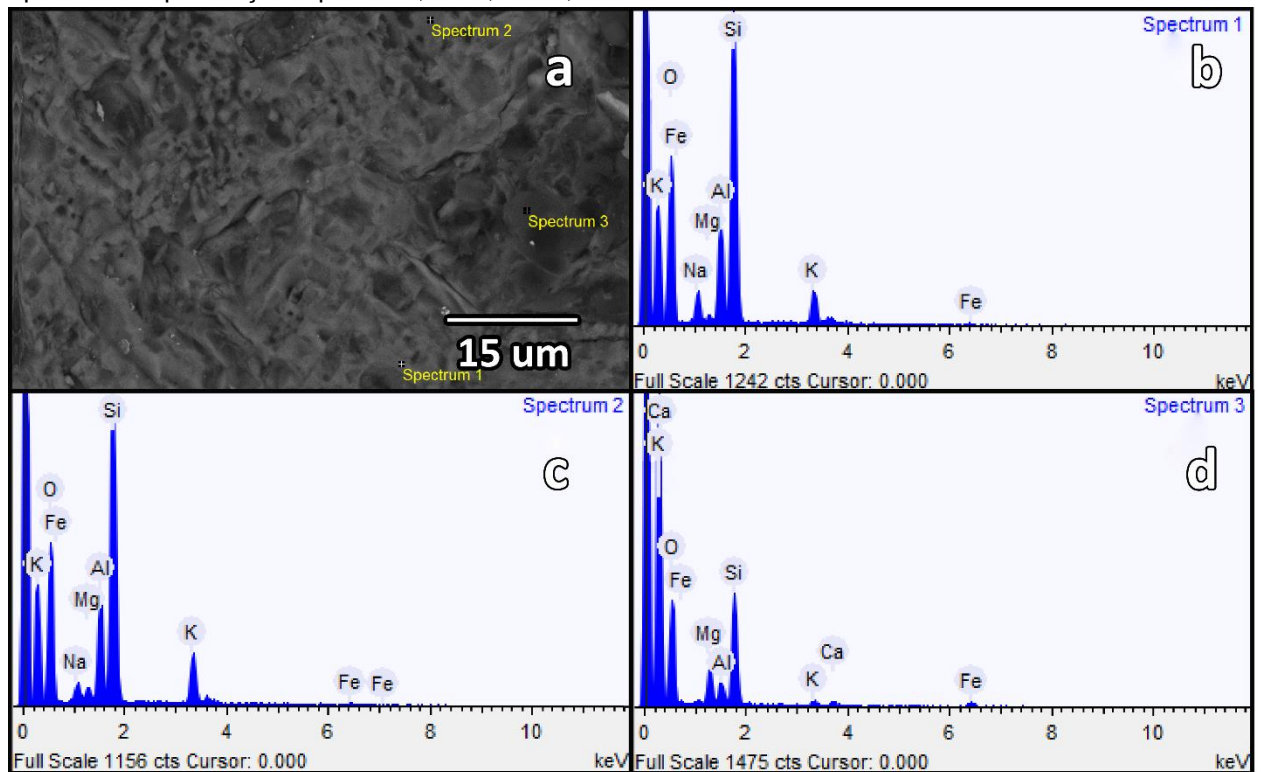


Figura 15 – Imagem eletrônica de varredura da matriz do riodacito e espectros EDS: (a) imagem da matriz do riodacito com marcação dos três pontos analisados; (b) espectro de análise do ponto 1 apontando a presença de potássio, sódio, magnésio, alumínio e silício; (c) espectro de análise do ponto 2 apontando a presença de potássio, ferro, sódio, magnésio, alumínio e silício; e (d) espectro de análise do ponto 3 apontando a presença de potássio, ferro, sódio, alumínio e silício.



4.2 Análise dos efluentes

Os efluentes provenientes dos processos de tingimento inorgânico vermelho de ágata, de forma geral, apresentam coloração avermelhada típica do óxido de ferro, nenhuma ou insignificante quantidade de material particulado e translucidez.

As análises de espectrometria por absorção atômica, condutividade elétrica e pH de cada um dos lotes de efluente analisados apontaram significativas diferenças, principalmente no que tange à concentração de ferro total apontada pela espectrometria por absorção atômica, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados das análise de espectrometria por absorção atômica, condutividade elétrica e pH dos três lotes de efluente

		Efluente		
		Lote 1	Lote 2	Lote 3
Análise	Concentração de Fe total (mg/L)	2.827,44	1.242,35	57,44
	Condutividade elétrica (mS/cm)	7,571	5,736	3,453
	pH	1,01	0,95	0,98

Considerando os padrões na Resolução CONAMA n° 430/2011, que estabelece os valores máximos para lançamento de efluentes industriais em corpos hídricos, pode ser percebida significativa concentração de Fe e pH significativamente ácido no efluente. Segundo a resolução, as águas residuais, resultantes dos processos de tratamento de efluentes industriais, não poderão possuir carga de Fe dissolvido superior a 15,0 mg/L, devendo o pH da solução ser entre 5 e 9.

4.3 Desenvolvimento e análise qualitativa dos ensaios

Conforme abordado, os ensaios para verificação das condições oferecidas pelas técnicas de tingimento escolhidas foram desenvolvidos em três fases. Utilizando lotes diferentes de efluente, buscando maximização e agilização das pigmentações e a minimização dos custos envolvidos, os ensaios possibilitaram a análise da influência de forças externas (vácuo/pressão/temperatura/concentração do efluente), bem como da variável *tempo de exposição*, para tingimento do “Basalto Carijó” utilizando efluente inorgânico vermelho proveniente dos processos de tingimento de ágata.

4.3.1 Ensaios de tingimento – primeira fase

Os primeiros ensaios foram realizados visando à avaliação da condição de serem desenvolvidos processos de tingimento das rochas sob vácuo e/ou pressão, além de verificar a influência da variável tempo de exposição, nestes. Para análise dos resultados e programação dos ensaios sequenciais foram utilizadas avaliações visuais da cor.

O primeiro ensaio, idealizado buscando a verificação da influência da utilização de processos com vácuo controlado para o tingimento da rocha, foi realizado com emprego de carga de vácuo de $-0,85 \text{ kgf/cm}^2$ – capacidade real máxima alcançada pela bomba – e determinado tempo de 30 minutos para a sua execução. Apesar do pouco tempo de exposição da amostra ao efluente, pôde ser percebida alteração na coloração da amostra, tanto na face polida quanto nas não polidas, quando comparada a da peça na coloração natural (Figuras 16 e 17).

Figura 16 – Figura comparativa das faces polidas (a) na cor natural e (b) resultante do ensaio 1

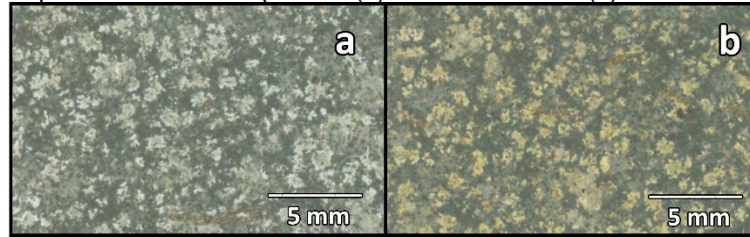
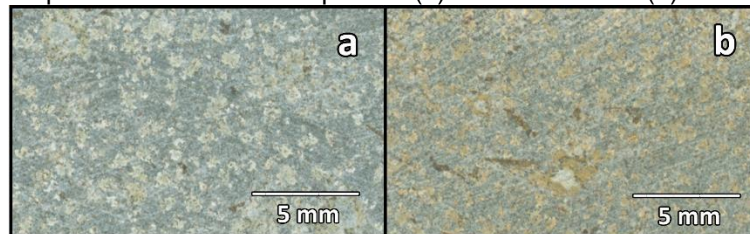


Figura 17 – Figura comparativa das faces não polidas (a) na cor natural e (b) resultante do ensaio 1



A partir do resultado obtido, buscando maior intensidade na coloração, considerando impossibilidade de aumento da carga de vácuo empregada nos processos, dada a limitação imposta pelo equipamento utilizado, os dois ensaios subsequentes foram realizados alterando a variável tempo. No segundo experimento o tempo de contato entre a amostra e o efluente foi elevado para 60 minutos e no terceiro para 90 minutos. Apesar dos incrementos de tempo nos ensaios 2 e 3, não foram percebidos, visualmente, resultados significativamente distintos.

Utilizando dos mesmos critérios de tempo dos primeiros, três ensaios, mas cargas de pressão da ordem de 1 kgf/cm^2 , foram realizados para a verificação deste tipo de carga nos processos.

Conforme percebido nos três ensaios iniciais, nos ensaios 4 a 6, foi possível, também, perceber visualmente alteração na coloração das amostras, apesar da não obtenção de cores mais intensas a partir do incremento de tempo. Assim como nas comparações das amostras obtidas pelo mesmo tipo de processo, não foram percebidas diferenças significativas quando comparados os resultados entre os processos de vácuo e pressão (Figuras 18 e 19).

Figura 18 – Figura comparativa das faces polidas das peças resultantes dos primeiros seis ensaios: imersão sob vácuo de (a) meia hora; (b) uma hora; e (c) uma hora e meia; e sob pressão de (d) meia hora; (e) uma hora; e (f) uma hora e meia

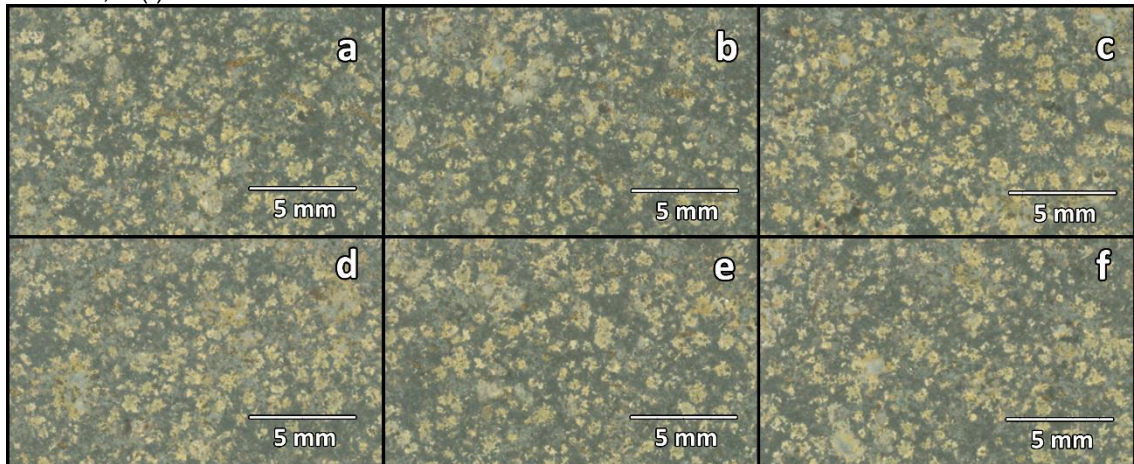
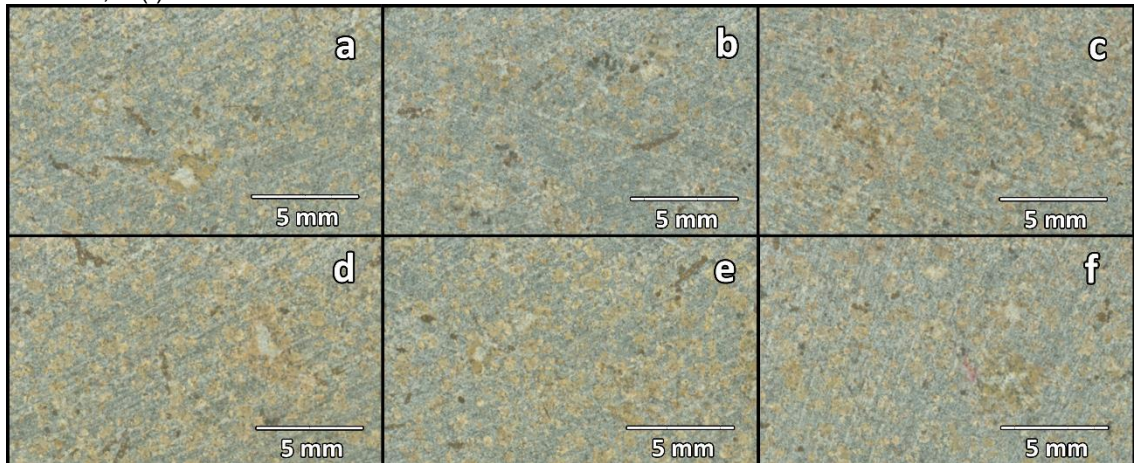


Figura 19 – Figura comparativa das faces não polidas das peças resultantes dos primeiros seis ensaios: imersão sob vácuo de (a) meia hora; (b) uma hora; e (c) uma hora e meia; e sob pressão de (d) meia hora; (e) uma hora; e (f) uma hora e meia



Considerando a não verificação de diferença significativa entre os resultados obtidos nos primeiros processos optou-se pela realização de ensaio com significativo incremento no tempo de exposição das amostras ao efluente, novamente utilizando carga de vácuo de $-0,85 \text{ kgf/cm}^2$.

No ensaio 7 a amostra foi mantida imersa no efluente, sob vácuo constante, durante 24 horas. O aumento significativo no tempo de contato da amostra com o efluente, permitiu, apesar de não proporcional, alteração diferenciada das obtidas anteriormente, principalmente na parte lateral, não polida (Figuras 20 e 21).

Figura 20 – Figura comparativa das colorações das faces polidas de (a) peça na coloração natural, (b) peça resultante do ensaio 1 e (c) peça resultante do ensaio 7

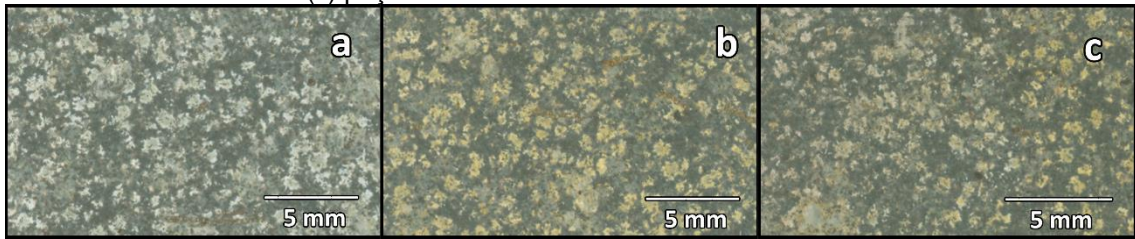
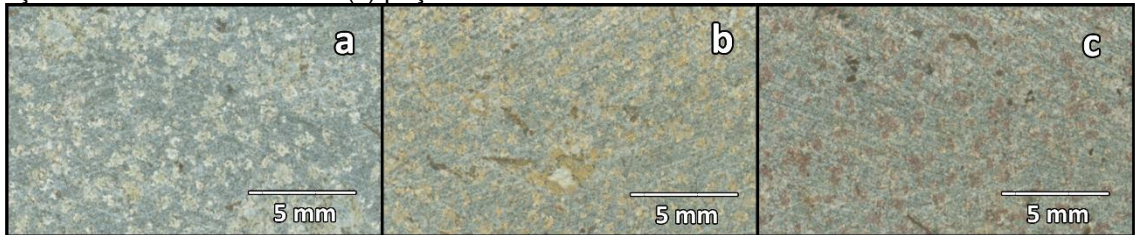


Figura 21 – Figura comparativa das colorações das faces não polidas de (a) peça na coloração natural, (b) peça resultante do ensaio 1 e (c) peça resultante do ensaio 7



Considerando a melhora no resultado do ensaio 7 em relação aos demais, atribuída ao maior período de exposição da peça ao efluente, e a inexistência de diferenças visuais entre os processos utilizando vácuo ou pressão, foram realizados dois novos ensaios.

Os dois novos ensaios foram realizados com novo incremento significativo de tempo – 96 horas. Para o ensaio 8 foi utilizado processo de simples imersão da peça no efluente durante o período total determinado. Já para o ensaio 9, foi aplicada carga de vácuo, de $-0,85 \text{ kgf/cm}^2$ durante as primeiras 24 horas, e de pressão, de 1 kgf/cm^2 nas 72 horas restantes.

Apesar do incremento de 300% no tempo de contato entre a amostra e o efluente, nos ensaios 8 e 9 não foram auferidas colorações significativamente diferentes das obtidas no ensaio 7.

Como último ensaio da primeira fase de experimentos, considerando a baixa – ou nenhuma – influência da utilização de forças externas e as melhoras nos resultados apresentados (em alguns dos experimentos) com o aumento do tempo de exposição, foi utilizado sistema de simples imersão da amostra no efluente e manutenção da condição por 240 horas.

Ao final do ensaio foi obtido o melhor resultado, em termos de alteração de coloração das peças, dos dez ensaios iniciais realizados, conforme apresentado nas Figuras 22 e 23.

Figura 22 – Figura comparativa das faces polidas (a) na coloração natural, (b) resultante do ensaio 1, (c) resultante do ensaio 7 e (d) resultante do ensaio 10

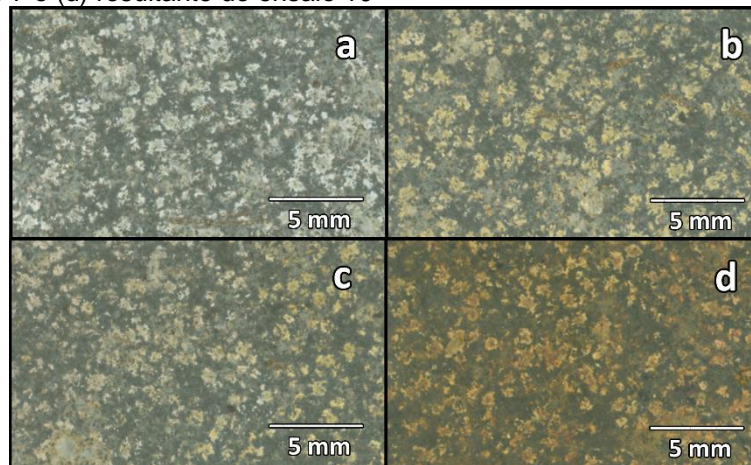
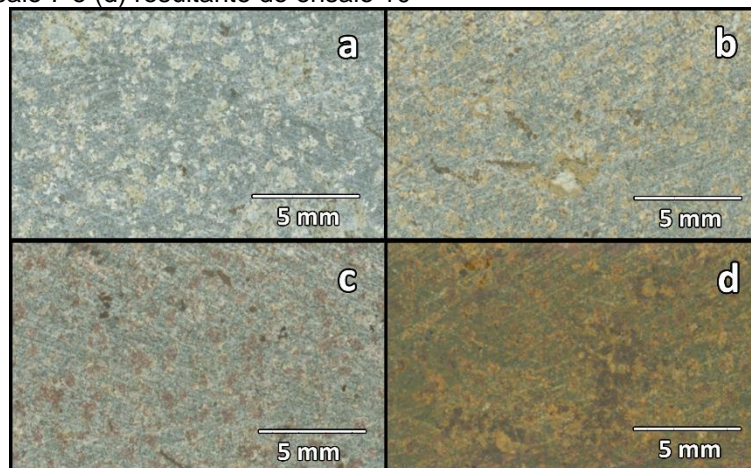


Figura 23 – Figura comparativa das faces não polidas (a) na coloração natural, (b) resultante do ensaio 1, (c) resultante do ensaio 7 e (d) resultante do ensaio 10



Os ensaios realizados nesta primeira fase de estudos, utilizando efluente pertencente ao lote 1, permitiram verificar a predominância da influência do contato entre as amostras e o efluente do tingimento inorgânico vermelho de ágata em relação à utilização de forças externas – como vácuo e pressão – nos padrões utilizados, para o tingimento do riodacito.

4.3.2 Ensaios de tingimento – segunda fase

Os ensaios realizados na primeira fase de experimentos, apesar de apresentarem resultados significativos para a pigmentação das rochas utilizando processos que priorizavam a minimização de volatilização do efluente, demandaram elevado tempo para a obtenção de alterações significativas de cor e demonstraram a baixa, ou nenhuma, influência de processos utilizando vácuo e/ou pressão.

Posto isto, utilizando efluentes pertencentes ao lote 2, ainda buscando a minimização da volatilização do efluente – e conseqüente minoração da possibilidade de poluição ambiental – e considerando a utilização industrial dos processos, foram realizados os ensaios desta segunda fase. Utilizando temperaturas semelhantes às utilizadas nos processos de tingimento inorgânico de ágata, mas em tempos reduzidos em relação a estes e aos ensaios com melhores resultados visualmente analisados, obtidos na primeira fase de experimentos, os da segunda fase, buscaram verificar a influência direta da variável temperatura nos processos.

Utilizando como critérios a minimização da volatilização do efluente, os equipamentos e a estrutura disponíveis na indústria de beneficiamento de ágata – base estabelecida para o desenvolvimento dos processos, conforme abordado anteriormente – e a condição de comparação de resultados com os obtidos na primeira fase, foram estabelecidos os parâmetros para realização dos ensaios: meia hora, uma hora e uma hora e meia, como tempo, e 90°C, como temperatura, utilizando mufla/forno Zezimaq como fonte de energia calorífica.

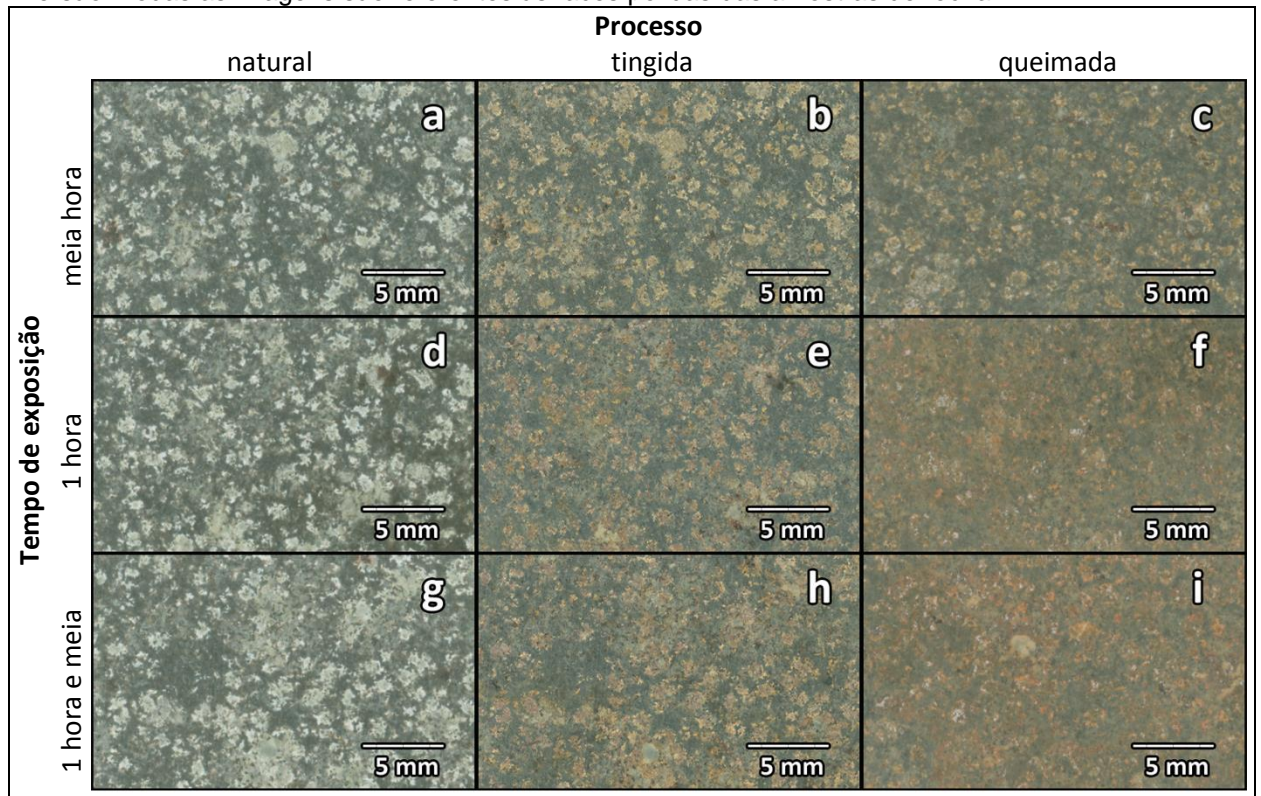
Visualmente analisadas, as peças tingidas sob temperatura de 90°C nos ensaios da segunda fase apresentaram significativa alteração de cor, nas faces externas, quando comparadas às colorações naturais e às colorações obtidas, em mesmo lapso de tempo, nos experimentos realizados na primeira fase de ensaios. Quando comparadas entre si, as peças com maiores tempos de exposição ao efluente, apresentaram pigmentações relativamente mais avermelhadas.

Para verificação da condição de impregnação, as peças tingidas foram serradas ao meio, considerando a bipartição da face superior/polida. Apesar da perceptível alteração da coloração das faces externas, nenhuma alteração, mesmo que muito próxima da superfície, pode ser percebida no seu interior.

Após a análise das faces polida, não polida e interna – exposta pela partição das amostras – uma das metades de cada peça foi levada para “queima (tratamento térmico)” a 200°C, por 8 horas, novamente utilizando mufla/forno Zezimaq como fonte de energia calorífica. O termo “queima” é usualmente utilizado pelo setor de beneficiamento de ágata e será utilizado nesta dissertação como referência a este tipo de tratamento térmico.

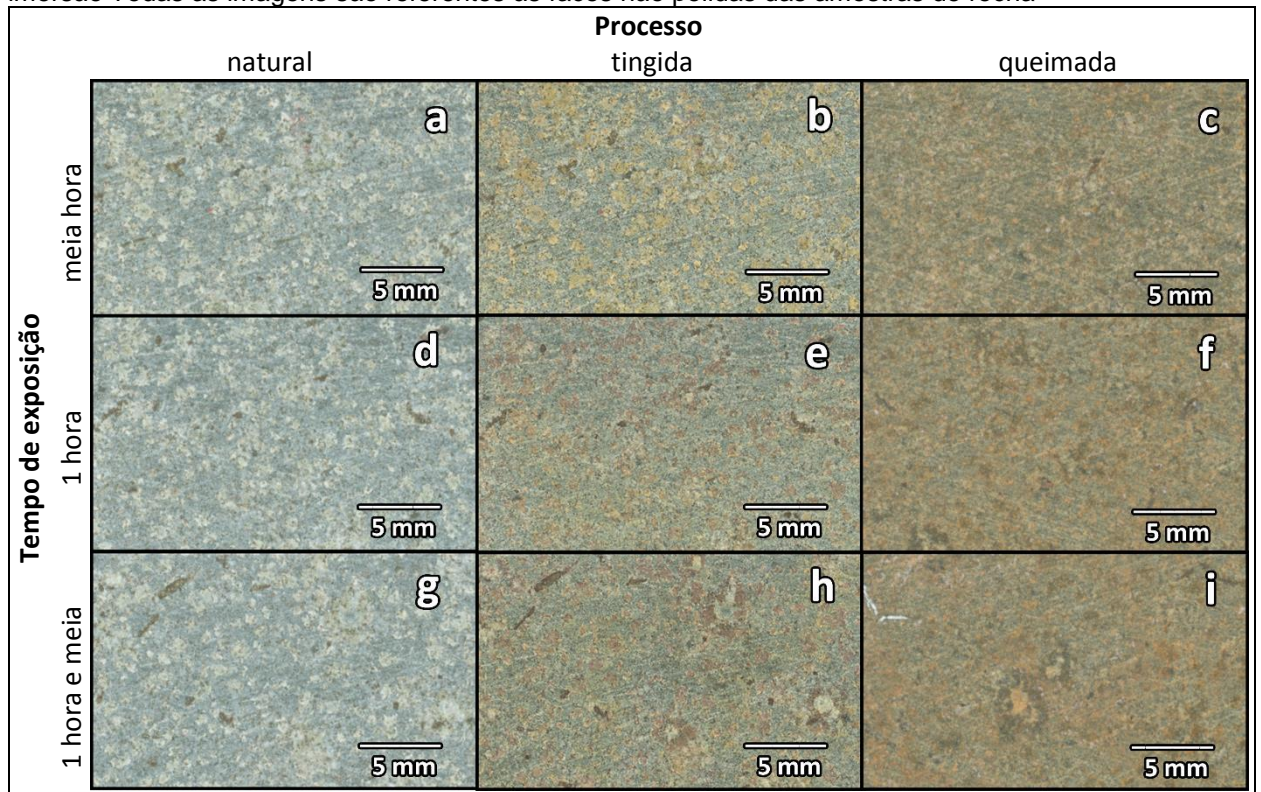
As peças queimadas tiveram significativa alteração em suas colorações, perdendo inclusive parte da sua característica “carijó”, principalmente nas peças com maior tempo de imersão no efluente. Nas faces polidas, os tons amarelo-alaranjados, mesclados ao cinza das peças obtidos pelo processo de tingimento, foram substituídos por colorações de marrom avermelhadas distribuídas de forma mais uniforme (Figura 24).

Figura 24 – Figura comparativa entre a coloração (a) natural, (b) após o tingimento e (c) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com meia hora de imersão; (d) natural, (e) após o tingimento e (f) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora de imersão; e (g) natural, (h) após o tingimento e (i) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora e meia de imersão. Todas as imagens são referentes às faces polidas das amostras de rocha



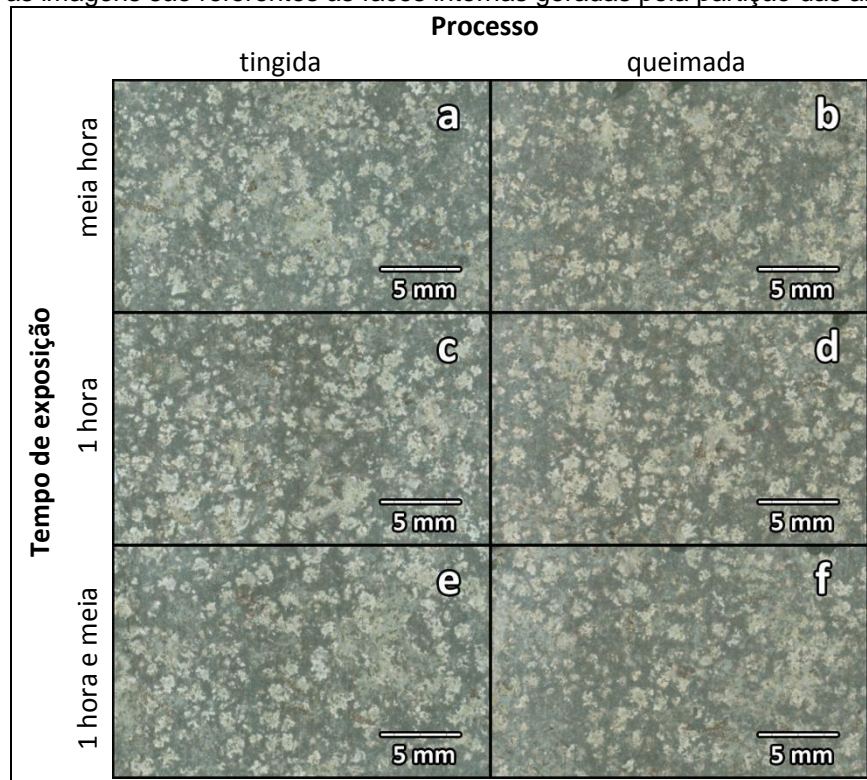
Nas faces não polidas, com a característica carijó menos evidente, não pode ser percebida alteração nesta com mesma intensidade. Apesar desta, as faces não polidas também apresentaram significativa alteração na coloração após o tingimento, sendo as tonalidades mais amareladas obtidas no processo com menor tempo de exposição da rocha ao efluente e as marrons nos com maior. Após a queima todas as peças apresentaram novas alterações de cor sendo intensificada a tonalidade marrom (Figura 25).

Figura 25 – Figura comparativa entre a coloração (a) natural, (b) após o tingimento e (c) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com meia hora de imersão; (d) natural, (e) após o tingimento e (f) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora de imersão; e (g) natural, (h) após o tingimento e (i) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora e meia de imersão Todas as imagens são referentes às faces não polidas das amostras de rocha



Nas faces internas, apesar de não terem sido percebidas alterações provocadas pelo processo de tingimento, foi percebida alteração de cor após a queima. Conforme pode ser percebido nas imagens da Figura 26, as peças apresentaram tonalidade levemente mais avermelhada na comparação com as colorações anteriores à queima.

Figura 26 – Figura comparativa entre a coloração (a) natural, (b) após o tingimento e (c) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com meia hora de imersão; (d) natural, (e) após o tingimento e (f) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora de imersão; e (g) natural, (h) após o tingimento e (i) após a queima, para amostras submetidas ao ensaio com com uma hora e meia de imersão Todas as imagens são referentes às faces internas geradas pela partição das amostras de rocha



4.3.3 Ensaio de tingimento – terceira fase

Os ensaios realizados nesta terceira fase foram programados considerando as influências da variável tempo de exposição, verificada na primeira fase, e os resultados obtidos com a utilização de calor/temperatura para aceleração dos processos, na segunda fase. Além da consideração destas, foi mantida, assim como para os ensaios anteriores, a busca por processos com usabilidade industrial, com reduzida possibilidade de poluição ambiental e que possibilitassem a impregnação do pigmento na rocha.

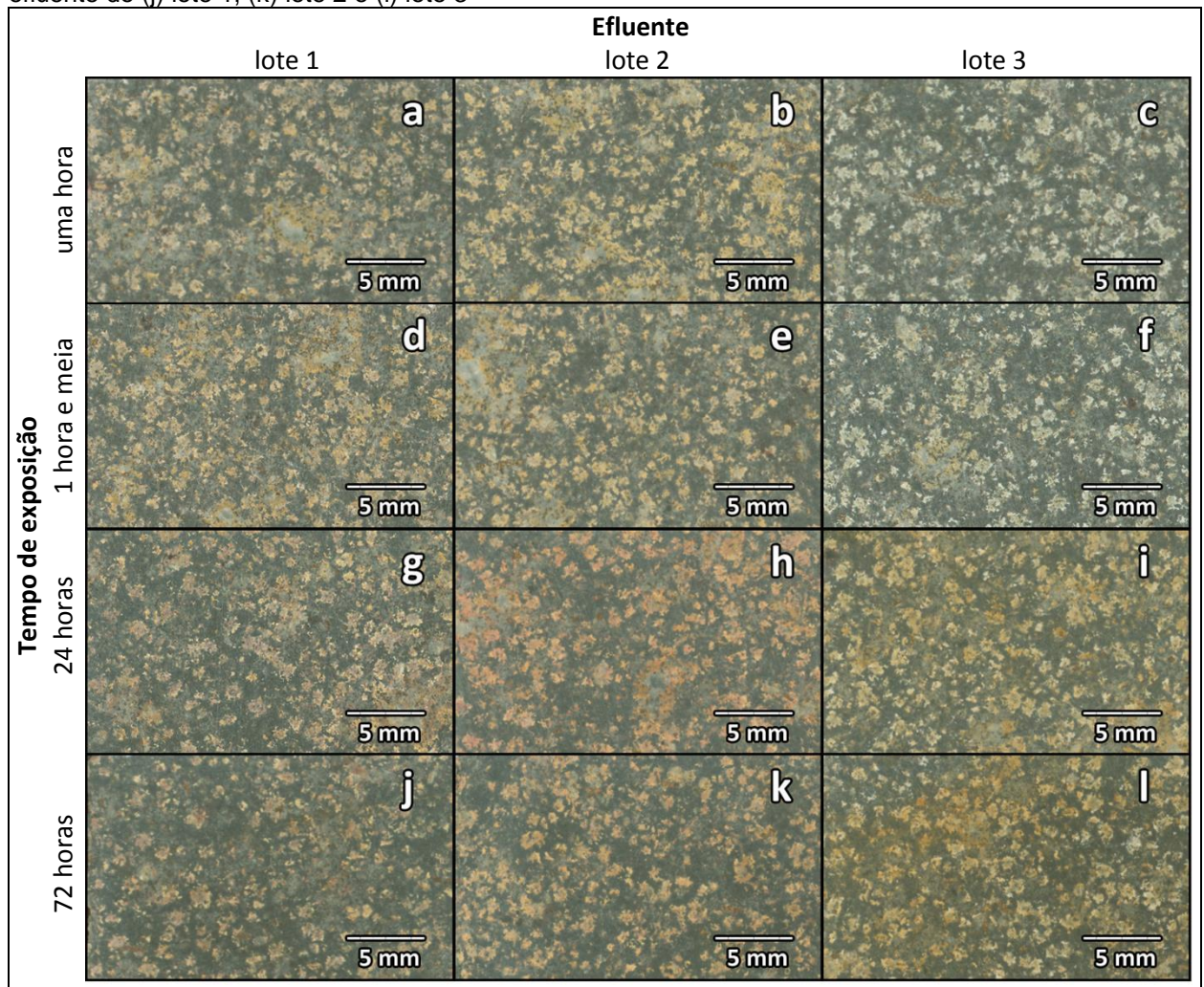
Para tanto os ensaios tiveram seus parâmetros de execução estabelecidos utilizando temperaturas inferiores e períodos de exposição das peças ao efluente iguais e superiores aos da segunda fase, mas passíveis de comparação com os experimentos anteriores.

Utilizando efluentes pertencentes aos lotes 1, 2 e 3 em cada lapso de tempo, os experimentos foram realizados com imersões de uma hora, uma hora e meia, 24 horas e 72 horas, sob aquecimento a 40°C. A realização de cada um dos padrões de processo

com três diferentes lotes de efluente buscou a verificação da influência da concentração de Fe total, do fluído, na coloração final das peças.

Análises visuais, após os processos de tingimento, permitiram a observação de incrementos nos tons variando entre amarelo-alaranjadas a laranja-avermelhadas, mescladas ao cinza escuro natural das peças, nas faces polidas das peças (Figura 27).

Figura 27 – Figura comparativa dos resultados obtidos nas pigmentações das faces polidas no processo de uma hora com efluente do (a) lote 1, (b) lote 2 e (c) lote 3; de uma hora e meia com efluente do (d) lote 1, (e) lote 2 e (f) lote 3; de 24 horas com efluente do (g) lote 1, (h) lote 2 e (i) lote 3; e de 72 horas com efluente do (j) lote 1, (k) lote 2 e (l) lote 3



As imagens das faces polidas resultantes dos ensaios realizados com efluente pertencente ao lote 1 – apresentadas nas imagens 27a, 27d, 27g e 27j – permitem a visualização de incrementos de tonalidades amarelo-alaranjadas graduais, mesmo com aumentos significativos nos tempos de exposição das peças, em relação aos dois primeiros, nos últimos ensaios realizados, com 24 e 72 horas de exposição.

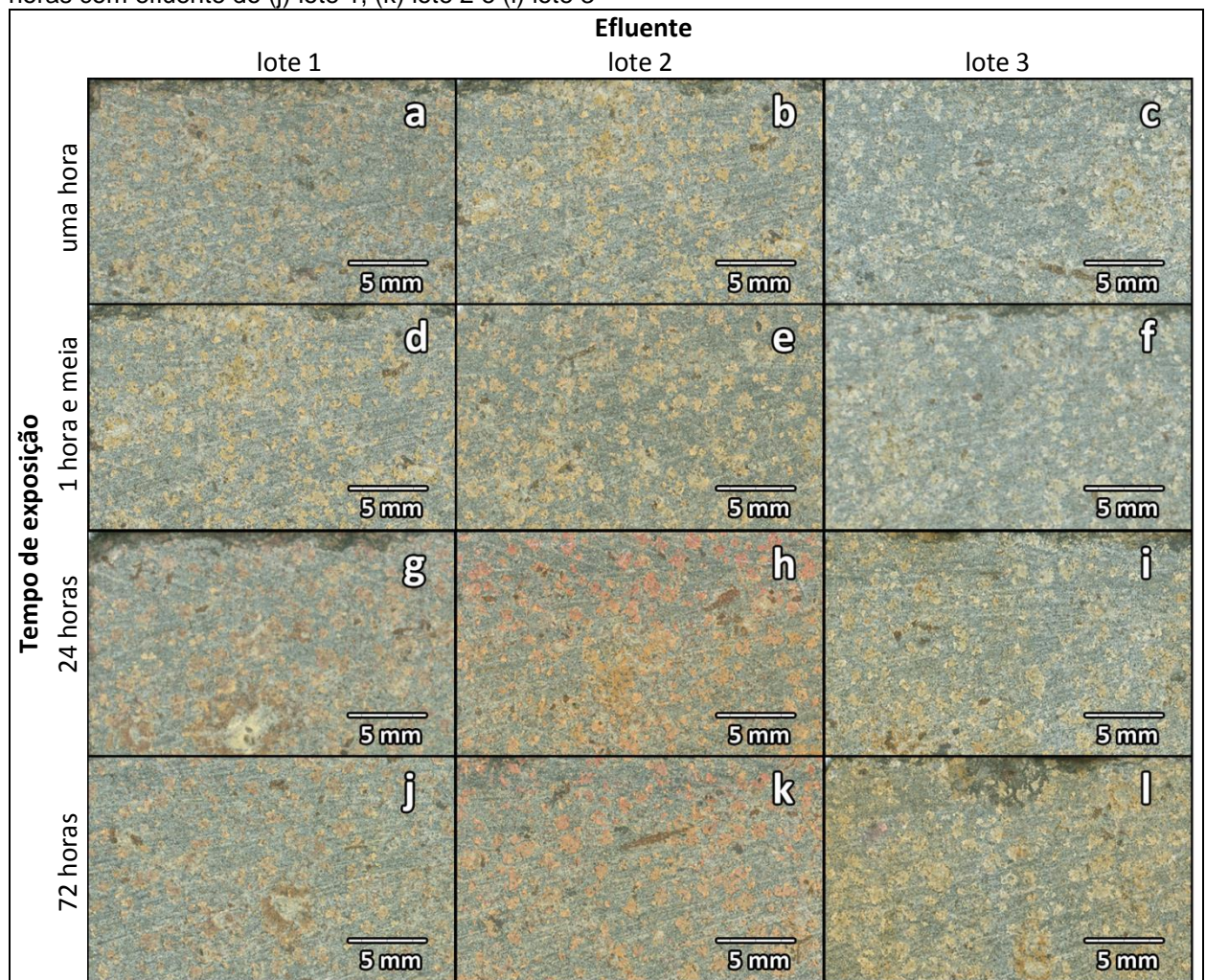
Diferentemente, as imagens das faces polidas resultantes nas duas sequências de ensaios realizadas com efluentes pertencentes aos lotes 2 e 3, apresentaram

incremento significativo de tons vermelho-alaranjados e amarelo-alaranjados nos ensaios realizados com efluentes pertencentes aos lotes 2 e 3, respectivamente, nos ensaios com maior tempo de exposição.

Apesar da redução da concentração de Fe total entre os lotes 1 e 2, as peças tingidas utilizando efluente pertencente ao lote 2, apresentaram colorações significativamente mais avermelhadas que as verificadas nos experimentos realizados com o lote 1. Já os resultados obtidos nos dois últimos ensaios realizados utilizando efluente do lote 3 apresentaram colorações mais amarelo-alaranjadas.

Análises realizadas nas faces não polidas das peças permitiram o mesmo tipo de conclusões das obtidas nas análises das faces polidas, conforme apresentado na Figura 28.

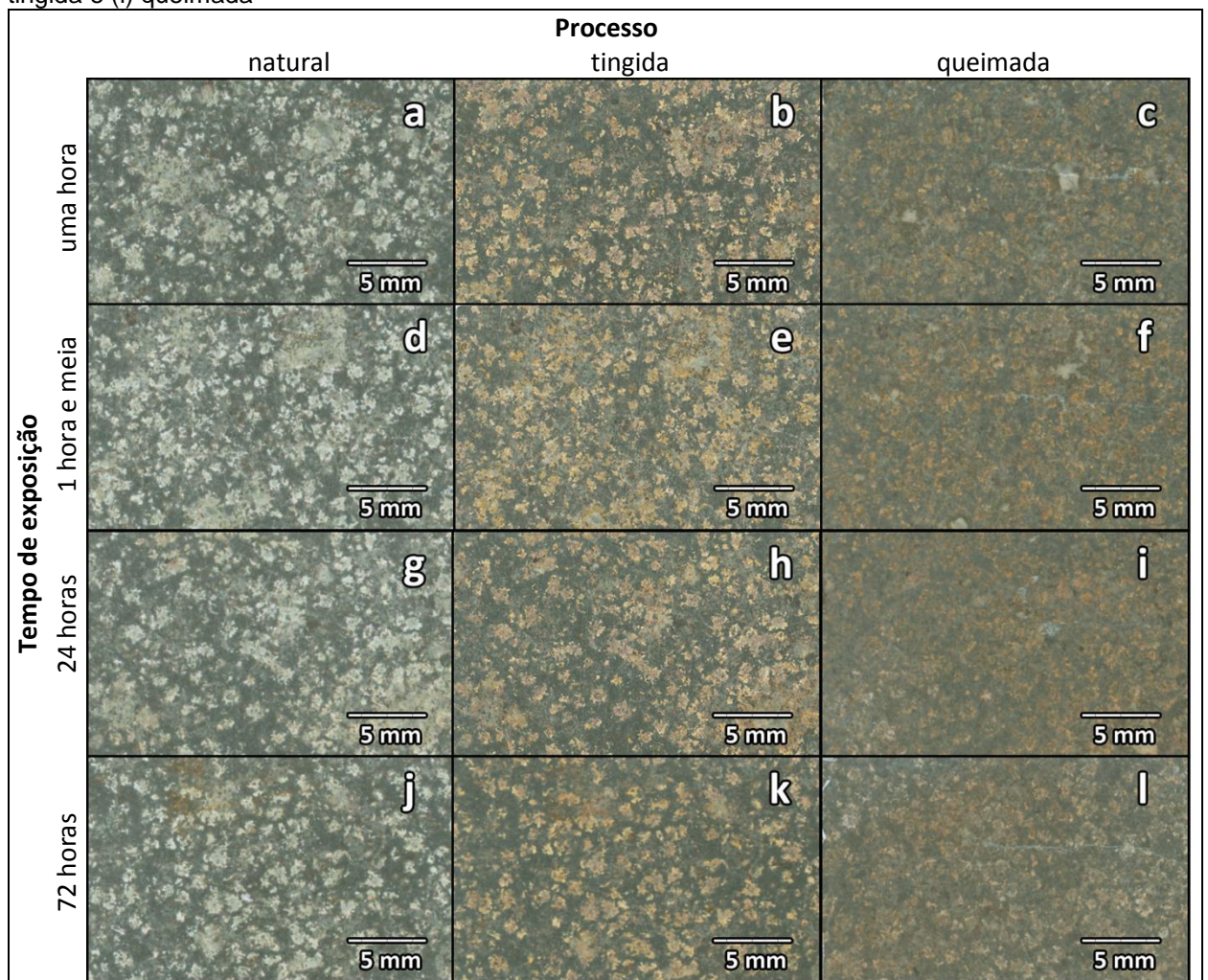
Figura 28 – Figura comparativa dos resultados obtidos nas pigmentações das faces não polidas no processo de uma hora com efluente do (a) lote 1, (b) lote 2 e (c) lote 3; de uma hora e meia com efluente do (d) lote 1, (e) lote 2 e (f) lote 3; de 24 horas com efluente do (g) lote 1, (h) lote 2 e (i) lote 3; e de 72 horas com efluente do (j) lote 1, (k) lote 2 e (l) lote 3



Seguindo os procedimentos adotados nos experimentos realizados na segunda fase de ensaios as peças tingidas foram serradas, bipartindo a face polida, sendo alisada a impregnação do pigmento e uma das metades, levada para queima.

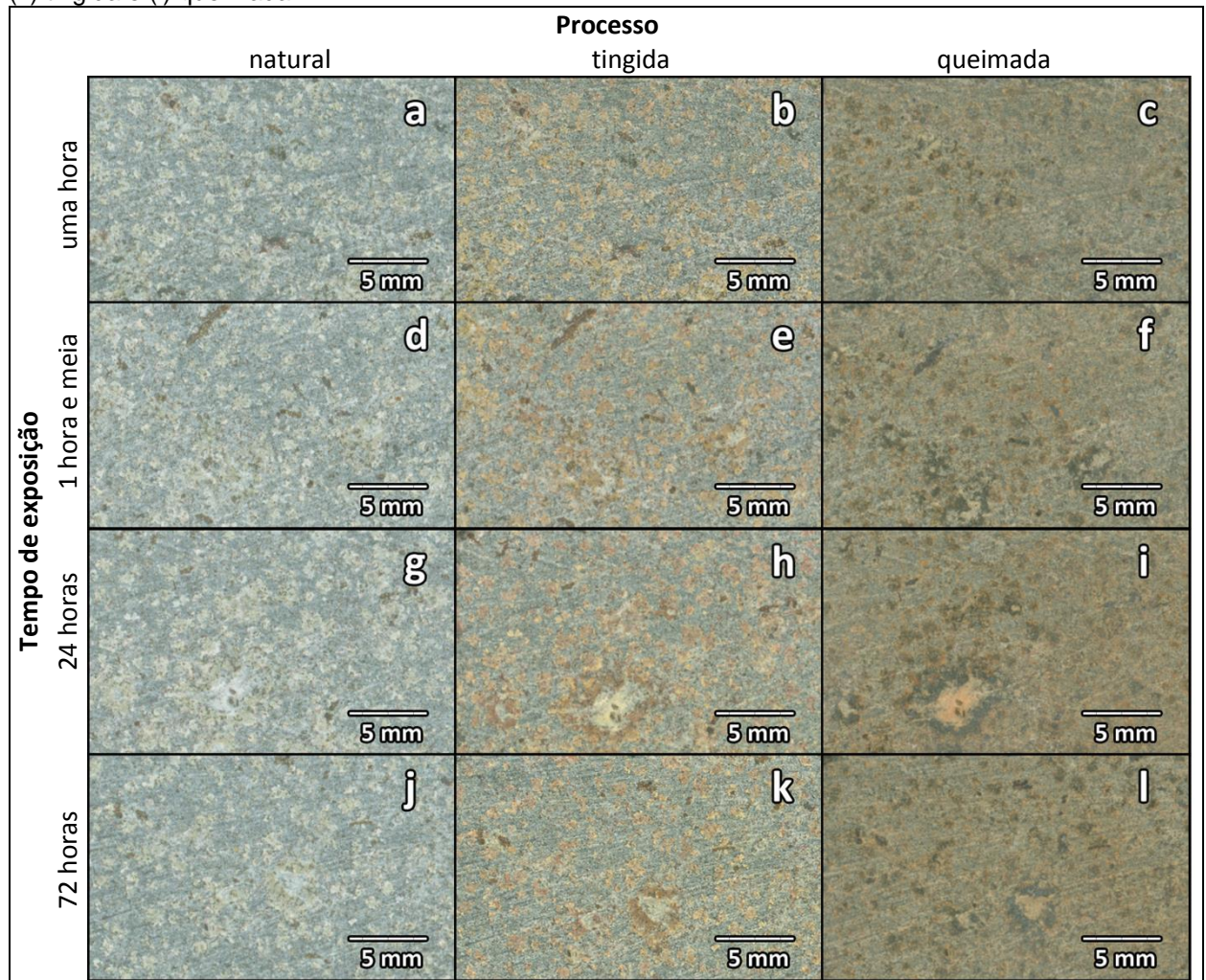
Imagens geradas das peças na coloração natural, após tingimento e após queima das peças pertencentes aos ensaios realizados utilizando efluente pertencente ao lote 1, permitiram, assim como na análise visual, a verificação de alterações de cor significativas nas peças, variando das tonalidades cinza-claro, naturais, para amarelo-alaranjadas, nas faces externas. Nova alteração pode ser verificada após a queima, sendo tonalidades mais homogêneas, marrom-acinzentadas, conforme pode ser observado nas imagens das faces polidas apresentadas na Figura 29.

Figura 29 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 1 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 24 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada



Análises das imagens das faces não polidas, permitiram a identificação, visual, de padrão semelhante de comportamento dos resultados obtidos nas faces não polidas (Figura 30).

Figura 30 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces não polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 1 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 24 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada

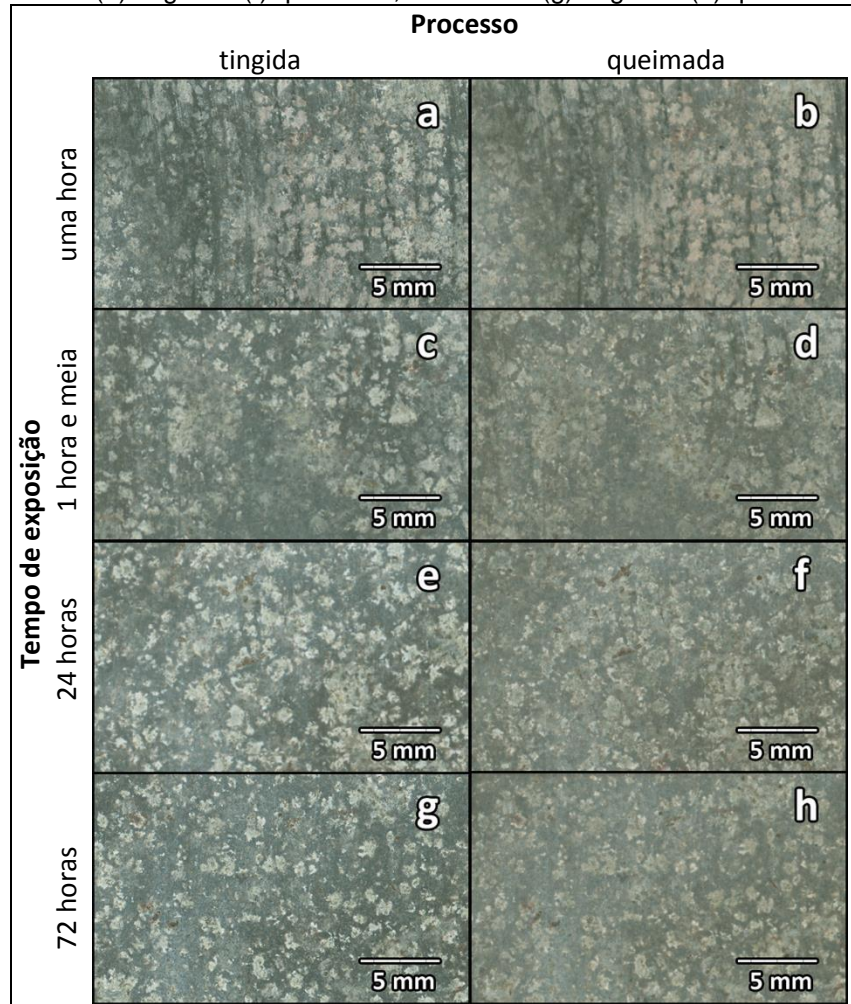


Nas faces não polidas a homogeneidade de cor identificada nas faces polidas foi menor, sendo passíveis de identificação de pequenas manchas em tonalidades marrom-acinzentas, de forma mais nítida.

Diferentemente dos resultados obtidos nas alterações de cor das faces externas após o tingimento, a análise visual das faces internas, geradas pela bipartição das peças, não permitiu que fossem verificadas alterações provocadas pelo pigmento no interior das peças, indicando baixa condição de permeabilidade da rocha em relação às partículas pigmentantes do efluente.

Apesar da análise visual das peças não permitir a identificação da penetração do fluído pigmentante, mesmo que muito próximo à superfície das peças, após queima as faces internas das peças apresentaram alteração em seus padrões (Figura 31).

Figura 31 - Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces internas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 1 por uma hora (a) tingida e (b) queimada; uma hora e meia (c) tingida e (d) queimada; 24 horas (e) tingida e (f) queimada; e 72 horas (g) tingida e (h) queimada



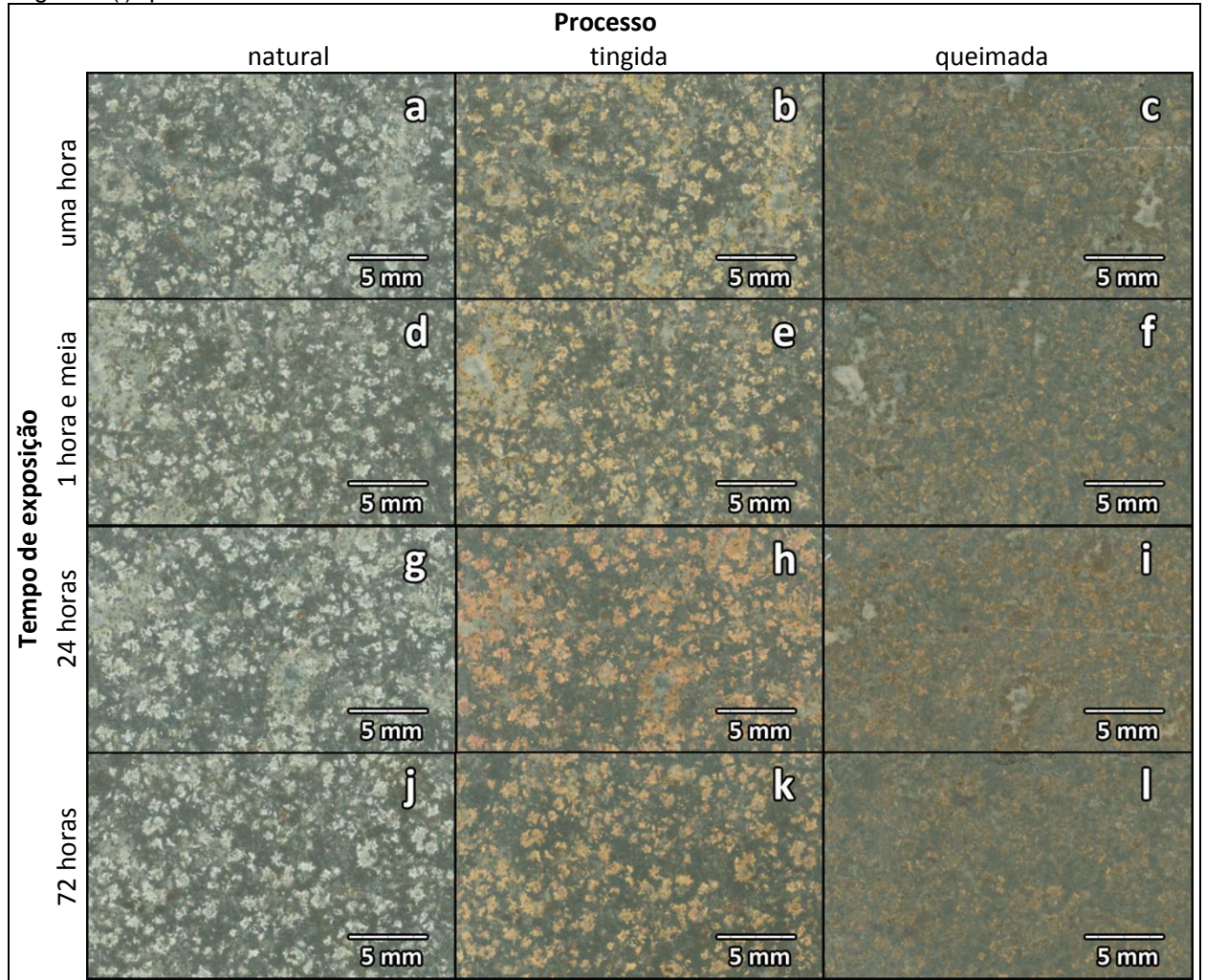
A análise das imagens das faces internas permite a identificação de leve alteração na tonalidade, sendo perceptível tonalidade levemente mais clara e avermelhada na comparação com as colorações anteriores à queima.

Conforme evidenciado nos ensaios realizados utilizando efluente pertencente ao lote 1, os ensaios realizados utilizando efluente pertencente ao lote 2, nas faces externas das peças, permitiram a identificação de significativa alteração entre os padrões de cor das peças na coloração natural, tingida e queimada.

Os resultados obtidos nos experimentos utilizando efluente pertencente ao lote 2 apresentaram, após o contato com o efluente, tonalidades amarelo-alaranjadas a laranja-avermelhadas variadas de acordo com o tempo de exposição das peças ao efluente e,

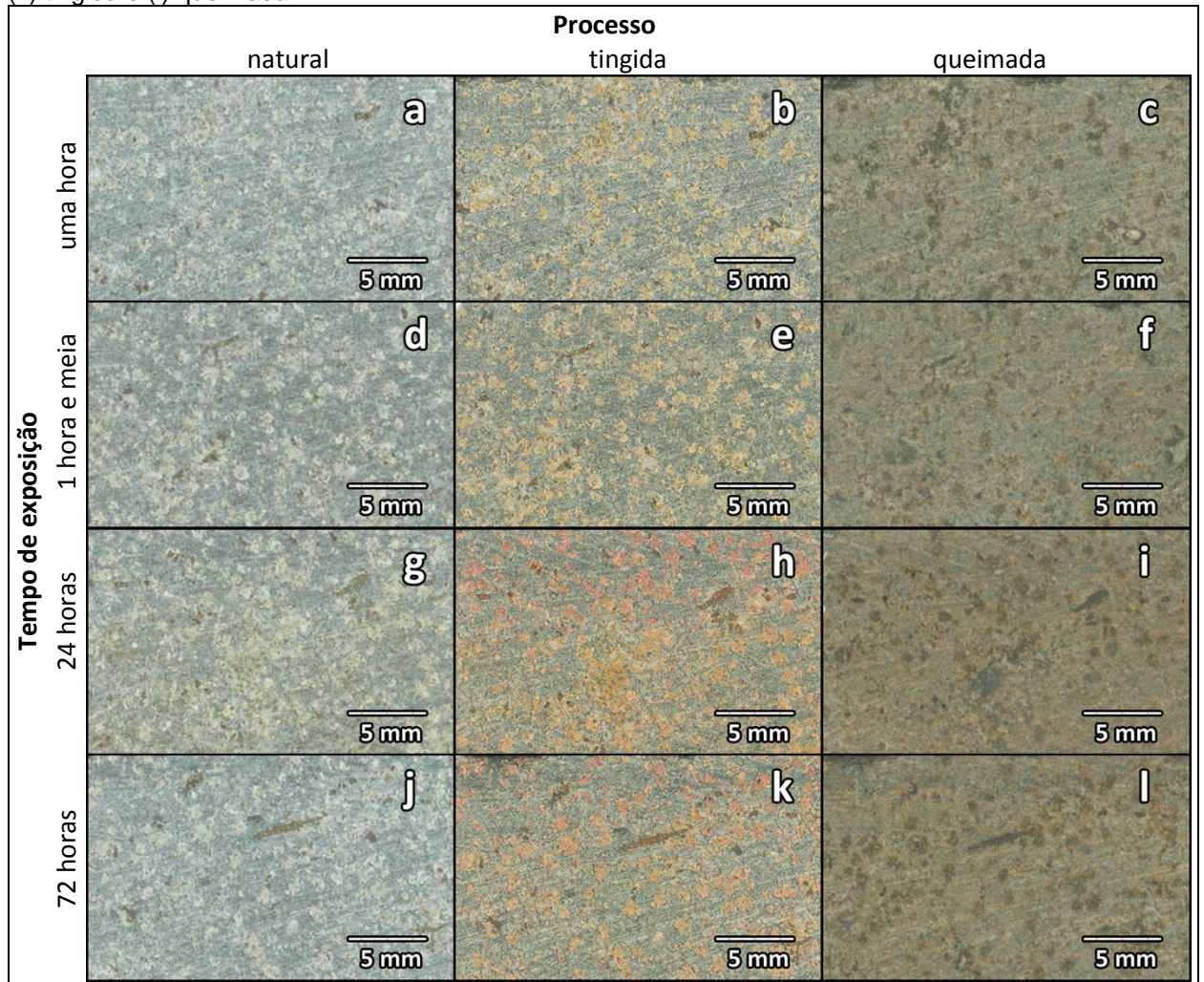
após a queima, tonalidade mais homogênea, marrom-acinzentada, nas faces polidas (Figura 32).

Figura 32 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 2 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 24 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada



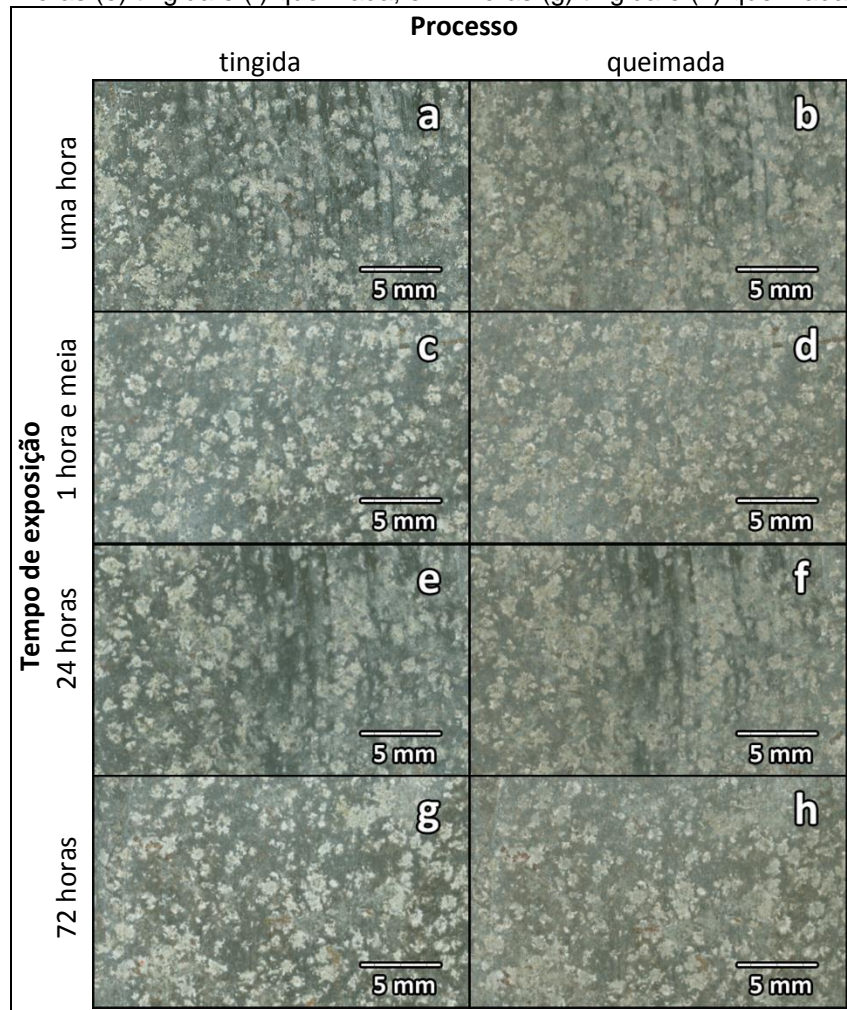
Resguardadas as proporções, assim como verificado nos ensaios utilizando efluente do lote 1, a análise das imagens das faces não polidas das peças processadas com o lote 2 apresentaram alterações semelhantes às obtidas nas faces polidas. As faces não polidas, apesar das semelhantes alterações de cor identificadas, mantiveram, assim como nos ensaios realizados com efluente do primeiro lote, pequenas manchas em tonalidades mais escuras (Figura 33).

Figura 33 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces não polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 2 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 24 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada



Igual comportamento de alteração nas faces internas das peças processadas com o lote 1 foi passível de identificação nas processadas com o lote 2. Não houve possibilidade de identificação visual da penetração do pigmentante na rocha, mesmo que próximo da superfície, bem como, após a queima, as peças apresentaram tonalidade levemente mais clara e avermelhada na comparação com as colorações anteriores à queima (Figura 34).

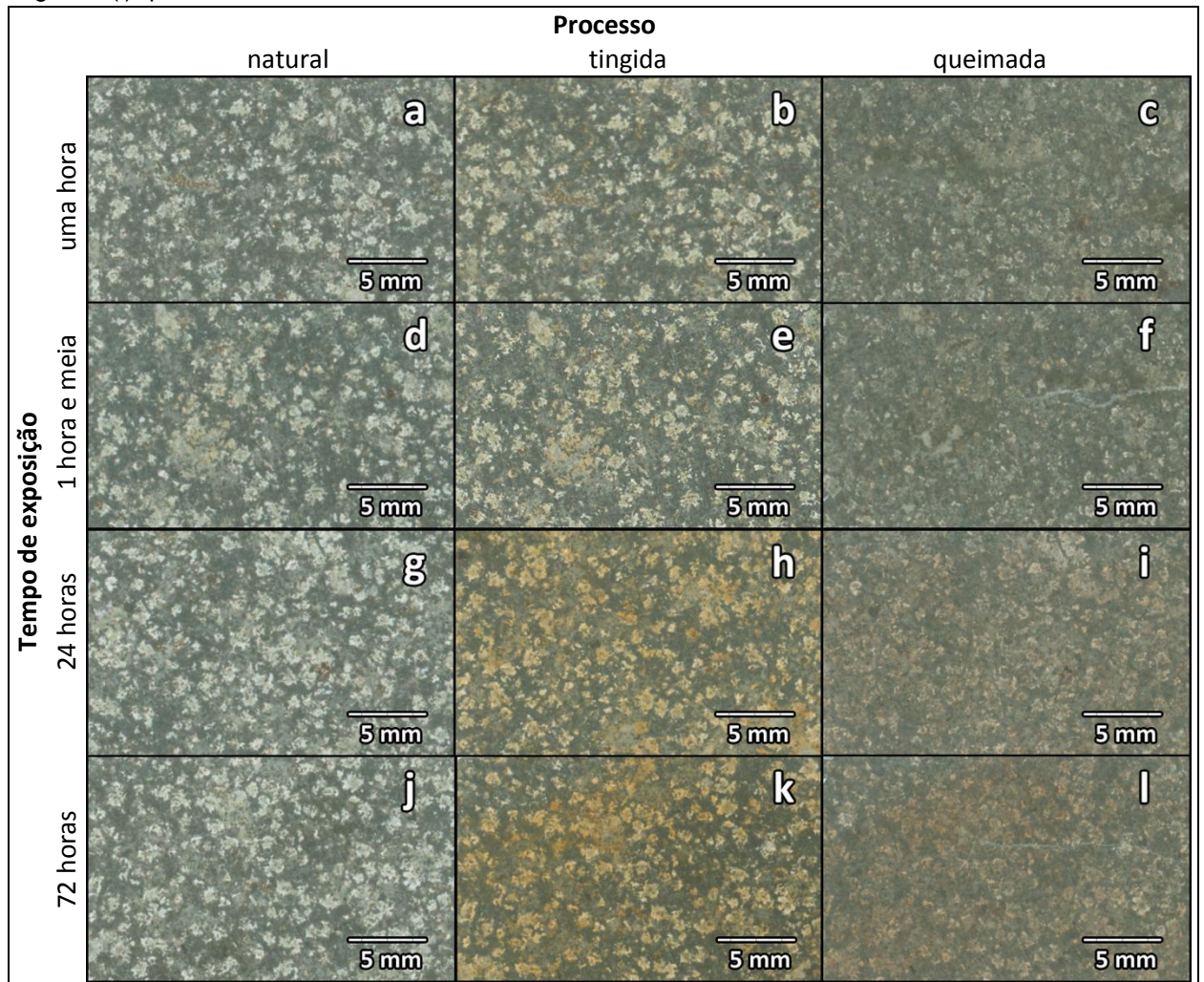
Figura 34 - Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces internas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 2 por uma hora (a) tingida e (b) queimada; uma hora e meia (c) tingida e (d) queimada; 24 horas (e) tingida e (f) queimada; e 72 horas (g) tingida e (h) queimada



De forma semelhante ao observado nos ensaios realizados com efluente pertencente ao lote 2, nos com lote 3, nas faces polidas apresentaram alterações de cor entre as peças naturais e tingidas, bem como após a queima.

Variando entre suaves tons amarelo-alaranjados, nas resultantes dos dois ensaios com menor tempo de exposição das peças ao efluente, e laranja-avermelhadas mais intensas, nos com maior, as colorações, das faces polidas das peças obtidas após o tingimento utilizando efluente do lote 3 não apresentaram alterações tão intensas quanto as obtidas nos ensaios realizados com efluente do lote 2. Já o comportamento de variação de cor identificado após a queima foi semelhante, sendo gerada coloração marrom-acinzentada, quando comparados os resultados dos ensaios realizados com os efluentes dos dois lotes (Figura 35).

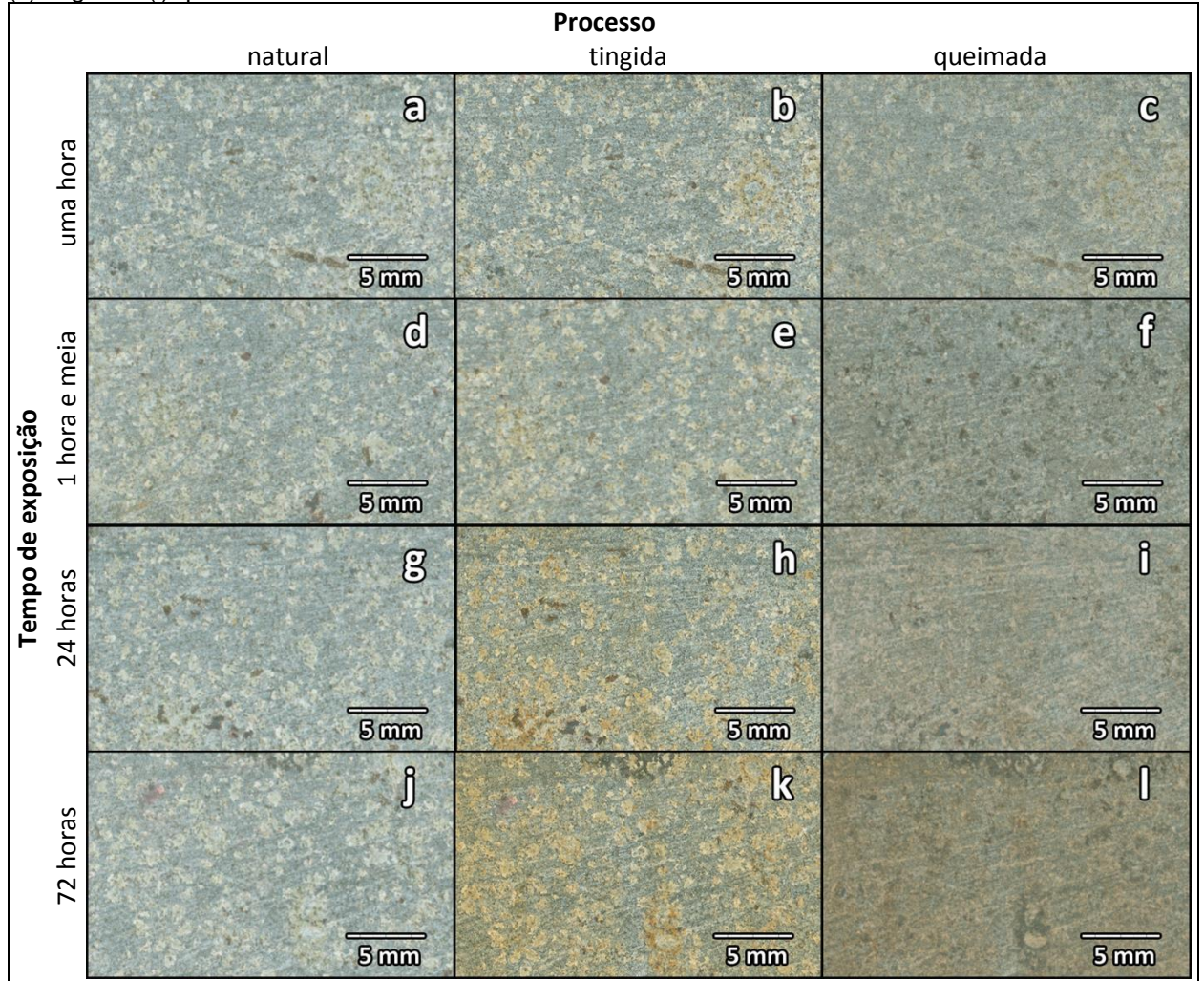
Figura 35 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 3 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 24 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada



Aspecto interessante observado nas imagens geradas das faces polidas dos dois ensaios com maior tempo de exposição das peças ao efluente é existência de áreas onde pode ser identificada maior intensidade dos tons alaranjados nas peças tingidas. Característica mantida, apesar de com menor intensidade, após a queima.

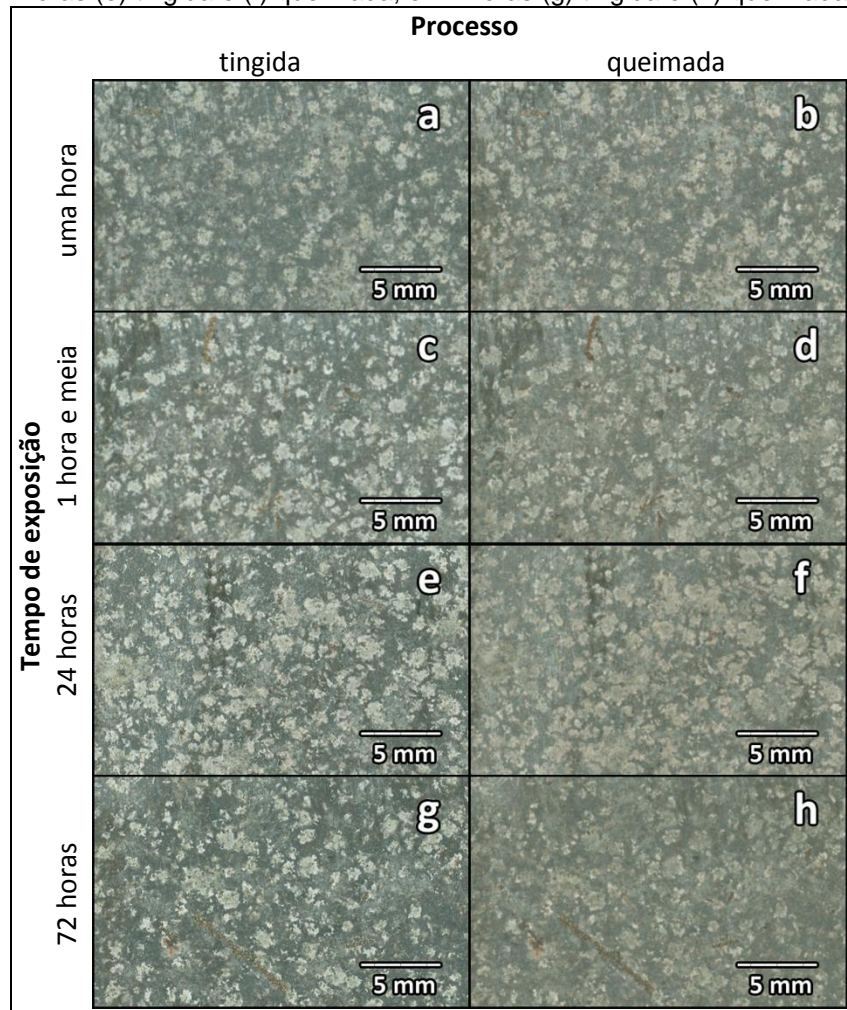
Nas faces não polidas, assim como nas faces polidas, pode ser percebida maior intensidade de tons alaranjados e áreas de maior concentração da pigmentação nas amostras submetidas a maior exposição ao efluente do lote 3. Foram identificados, nestas, comportamentos de alteração de cor semelhantes aos obtidos nas faces não polidas das peças processadas com efluente do lote 2, mas mantidas suavemente perceptíveis as áreas de concentração da pigmentação, principalmente na peça com maior tempo de exposição, conforme observado na Figura 36.

Figura 36 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces não polidas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 3 por uma hora (a) natural, (b) tingida e (c) queimada; uma hora e meia (d) natural, (e) tingida e (f) queimada; 24 horas (g) natural, (h) tingida e (i) queimada; e 72 horas (j) natural, (k) tingida e (l) queimada



Apesar das variações de coloração das faces externas obtidas a partir das diferentes concentrações de efluentes e incrementos de tempo de exposição das amostras a estes, as do lote 3 apresentaram tonalidade mais clara e suave alteração da coloração para tom avermelhado. As imagens das faces internas das amostras tingidas pelo efluente lote 3, e queimadas, são apresentadas na Figura 37.

Figura 37 – Figura comparativa dos resultados de alteração da cor nas faces internas de peças tingidas por imersão em efluente do lote 3 por uma hora (a) tingida e (b) queimada; uma hora e meia (c) tingida e (d) queimada; 24 horas (e) tingida e (f) queimada; e 72 horas (g) tingida e (h) queimada

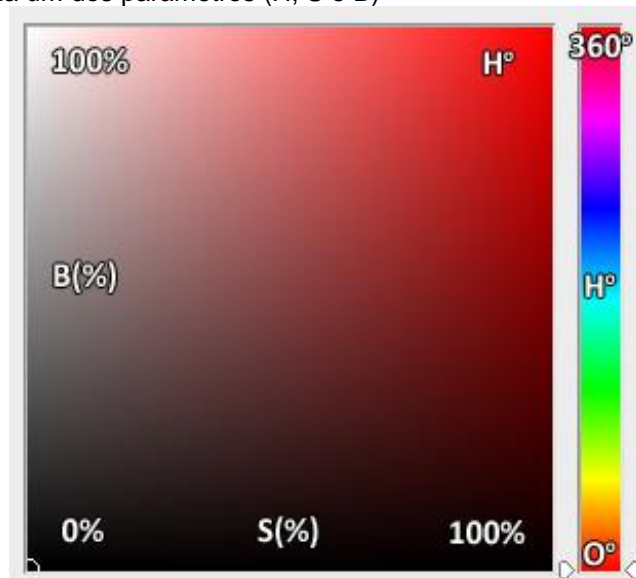


4.4 Análises quantitativas dos ensaios

Após a análise visual dos resultados obtidos a partir dos diferentes processos e efluentes testados, procedeu-se a análise quantitativa da alteração de coloração nas amostras. Para quantificação foi utilizando o modelo proposto por Motoki, Vargas e Peixoto (2000). Estas alterações baseiam-se na geração de imagens de alta resolução, no modelo “*true color*”, e na sua análise a partir do padrão HSB.

Para melhor entendimento do funcionamento/combinacão dos parâmetros HSB a Figura 38 apresenta vista parcial da tela da ferramenta “Seletor de Cores” do programa Adobe Photoshop®, sendo indicados os padrões de evoluçã de cada um dos parâmetros H, S e B.

Figura 38 - Vista parcial da tela do Seletor de Cores do software Adobe Photoshop® com indicação dos padrões de evolução de cada um dos parâmetros (H, S e B)



Pode ser observada, à direita, na Figura 38 caixa de seleção de matiz, variando de vermelho (0°) a vermelho (360°) perpassando por tonalidades amareladas, esverdeadas e azuladas de acordo com a variação entre as duas extremidades. Na caixa maior podem ser visualizadas as graduações de brilho – B(%) – na lateral esquerda e de saturação – S(%) – na base, que determinam, de acordo com a sua variação isolada ou conjunta, a intensidade da coloração branca e a pureza da matiz, que se encontra no canto superior direito.

Para análise, conforme os autores, visando alto índice de confiabilidade (com erro inferior a 0,5%) deverão ser analisados montantes superiores a 1.000 pixels. Posto isto, considerando a área das faces (3 cm x 3 cm na face polida, 3 cm x 2 cm na lateral não polida e 1,5 cm x 2 cm nas faces internas geradas pelos cortes das peças) e buscando maior confiabilidade nas informações geradas, a partir da análise de área representativa destas, as imagens originais tiveram sua resolução reduzida para 150 dpi (150 pixels/pol) e analisada área de 101 por 101 pixels a partir do seu centro.

4.4.1 Análises quantitativas das colorações obtidas na primeira fase de ensaios

Por terem sido realizados os testes iniciais antes da determinação final dos processos de avaliação dos resultados, não foram geradas imagens das peças na coloração original. Isto posto, para que pudesse ser efetuada comparação quantitativa

dos resultados obtidos na primeira fase de ensaios, foram realizadas análises das faces polidas e não polidas de 10 peças, escolhidas aleatoriamente, ainda na coloração natural, sendo utilizada a média obtida como padrão.

Os resultados das análises nas amostras na coloração natural, utilizando programa Adobe Photoshop®, são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas peças, na coloração natural, analisadas para comparação da alteração da coloração após o processo de tingimento

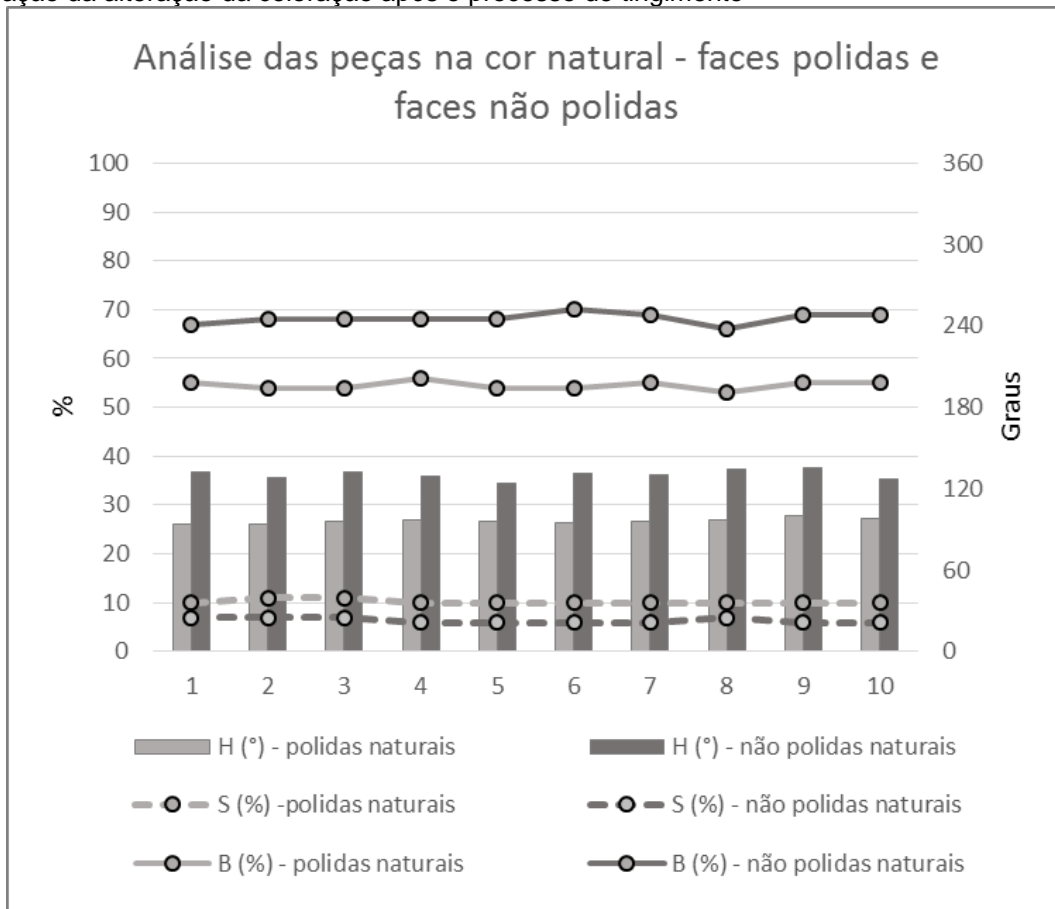
Parâmetro	Amostra										Desvio Padrão	Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	Face polida											
H (°)	94	94	96	97	96	95	96	97	100	98	1,36	96,3
S (%)	10	11	11	10	10	10	10	10	10	10	0,32	10,2
B (%)	55	54	54	56	54	54	55	53	55	55	0,70	54,5
	Face lateral, não polida											
H (°)	132	128	132	129	124	131	130	134	135	127	2,60	130,2
S (%)	7	7	7	6	6	6	6	7	6	6	0,48	6,4
B (%)	67	68	68	68	68	70	69	66	69	69	0,84	68,2

Conforme apresentado, foram encontradas diferenças máximas de 6° (equivalentes a 1,67% da variação total possível), desvio padrão de 1,36° e média 96,3° das matizes. Também foi verificada alteração de 1 ponto percentual na variação, desvio padrão de 0,32 pontos percentuais e média 10,2% na saturação e 3 pontos percentuais na variação, desvio padrão de 0,7 pontos percentuais e média 54,5% no brilho – parâmetro B(%) – nos padrões de cor das faces polidas.

A variação máxima identificada no padrão H(°) foi de 8° (equivalentes a 2,22% da variação total possível), com desvio padrão de 2,6° e média 130,2°. No parâmetro S(%) foram identificadas variações máximas de 1 ponto percentual, desvio padrão de 0,48 pontos percentuais e média 6,4% na saturação e no B(%) 4 pontos percentuais na variação, desvio padrão de 0,84 pontos percentuais e média 68,2% nos padrões de cor das faces não polidas.

Para melhor visualização da relação e variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) das faces polidas e não polidas, relativas às mensurações realizadas nas 10 peças na coloração natural, foi gerado o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Variação dos padrões H($^{\circ}$), S(%) e B(%) nas peças, na coloração natural, analisadas para comparação da alteração da coloração após o processo de tingimento



No gráfico (Gráfico 1) pode ser visualizada a manutenção dos padrões de comportamentos dos três parâmetros tanto nas faces polidas como nas não polidas. Nas faces polidas o parâmetro H($^{\circ}$) indica coloração em tom verde-amarelado, escurecido, conforme indicado pelo parâmetro B(%). Já nas faces não polidas é indicada coloração esverdeada com maior brilho/menos escurecida que as verificadas nas faces polidas. A análise do parâmetro S(%) permite a verificação da constância e baixo nível de saturação das cores em ambas.

Os resultados métricos confirmam impressões obtidas pelas análises visuais realizadas anteriormente e agregam informações importantes para as análises futuras.

Considerando a impossibilidade de vinculação direta de cada um dos resultados aos resultados obtidos nos 10 ensaios realizados nesta primeira fase consequente da não geração de imagens das peças na coloração natural antes do processamento, foi utilizada, para comparação, a média dos resultados das análises das faces polidas e não polidas das peças na coloração natural.

A média dos resultados das análises dos parâmetros $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ das faces polidas e não polidas na coloração natural e dos resultados das análises nas 10 peças pertencentes à primeira fase são apresentados na Tabela 7 e nos gráficos das faces polidas e das faces não polidas (Gráficos 2 e 3).

Tabela 7 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces polidas e não polidas das peças resultantes dos 10 ensaios da primeira fase em comparação com a média das peças naturais

Parâmetro	Ensaio										
	Média Naturais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Face polida										
H ($^{\circ}$)	96,3	69	74	67	68	69	68	68	69	69	52
S (%)	10,2	17	16	18	17	17	17	18	17	17	30
B (%)	54,5	55	52	55	55	54	54	52	52	51	46
	Face lateral, não polida										
H ($^{\circ}$)	130,2	70	77	65	62	63	72	68	61	59	45
S (%)	6,4	13	12	13	16	16	12	11	13	12	36
B (%)	68,2	64	63	63	63	63	64	59	59	59	48

Gráfico 2 - Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces polidas das peças resultantes dos 10 ensaios da primeira fase em comparação com a média das peças naturais

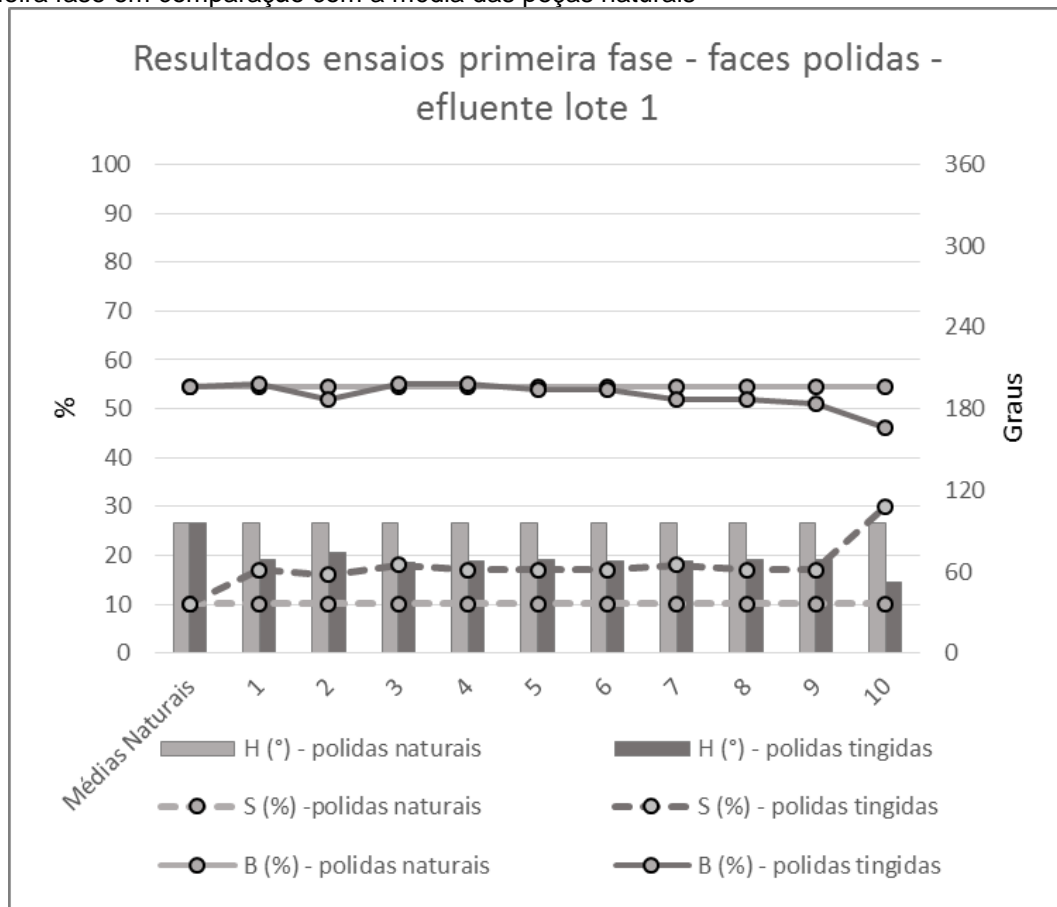
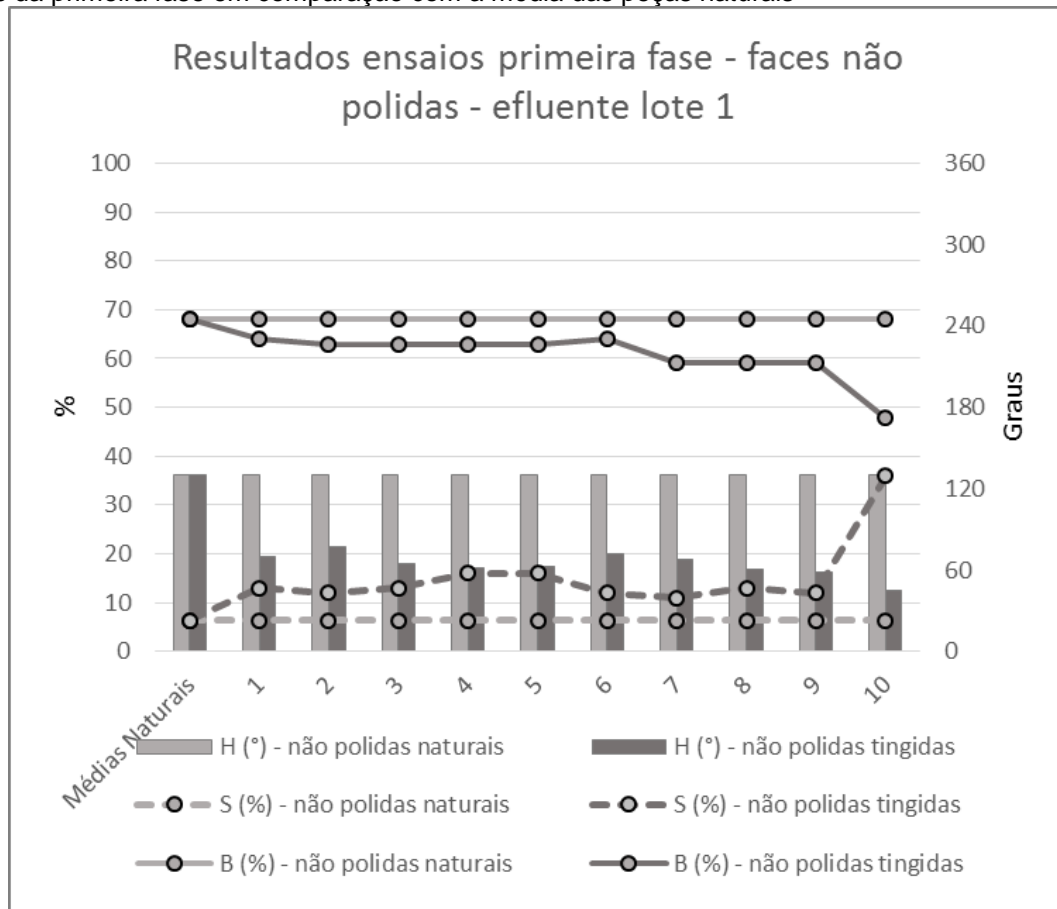


Gráfico 3 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces não polidas das peças resultantes dos 10 ensaios da primeira fase em comparação com a média das peças naturais



Pode ser percebida alteração abrupta nos parâmetros H(°) e S(%) em ambas as faces e B(%) nas faces não polidas quando comparados com as médias dos resultados auferidos nas análises das peças na coloração natural, havendo a manutenção destes, algumas vezes com pequenas oscilações, pelo menos até o sexto ensaio.

A análise dos parâmetros relativos ao sétimo ensaio, permite verificar alteração mais significativa/nítida no parâmetro B(%), principalmente nas faces não polidas, havendo a manutenção dos padrões deste e dos demais parâmetros até o nono ensaio.

Entre o nono e o décimo ensaio são passíveis de identificação as maiores alterações dentre as obtidas até então. Reduções nos padrões H(°), indicando tonalidades mais amareladas/alaranjadas, e B(%) indicando escurecimento da cor da peça, e aumento da saturação – S(%) – indicando maior intensidade na coloração, são identificáveis em ambos os tipos de faces.

4.4.2 Análises quantitativas das colorações obtidas na segunda fase de ensaios

Conforme anteriormente apontado, na segunda fase de ensaios foram realizados 3 experimentos utilizando temperatura de 90°C como força externa para a agilização dos processos de tingimento e de 200°C para a queima e verificação da influência desta na pigmentação das peças.

Os resultados das análises quantitativas das peças nas colorações natural, após tingimento e após queima, bem como das faces internas geradas pelo corte utilizado para a verificação da possível impregnação do efluente na rocha são apresentados na Tabela 8 e nos Gráficos 4, 5 e 6.

Tabela 8 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas e não polidas das peças resultantes dos 3 ensaios da segunda fase em comparação com as peças naturais

Parâmetro	Ensaio								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Face polida natural			Face não polida natural					
H (°)	106	93	100	131	142	135			
S (%)	9	11	9	7	7	7			
B (%)	54	52	57	68	69	69			
	Face polida tingida			Face não polida tingida			Face interna tingida		
H (°)	73	69	59	67	61	58	121	107	109
S (%)	15	15	18	15	16	17	8	9	8
B (%)	51	50	49	64	62	59	58	57	58
	Face polida queimada			Face não polida queimada			Face interna queimada		
H (°)	60	58	49	49	46	46	89	88	83
S (%)	12	12	14	24	27	27	10	10	10
B (%)	61	60	63	58	58	59	55	55	56

Gráfico 4 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas das peças resultantes dos 3 ensaios da segunda fase em comparação com as peças naturais

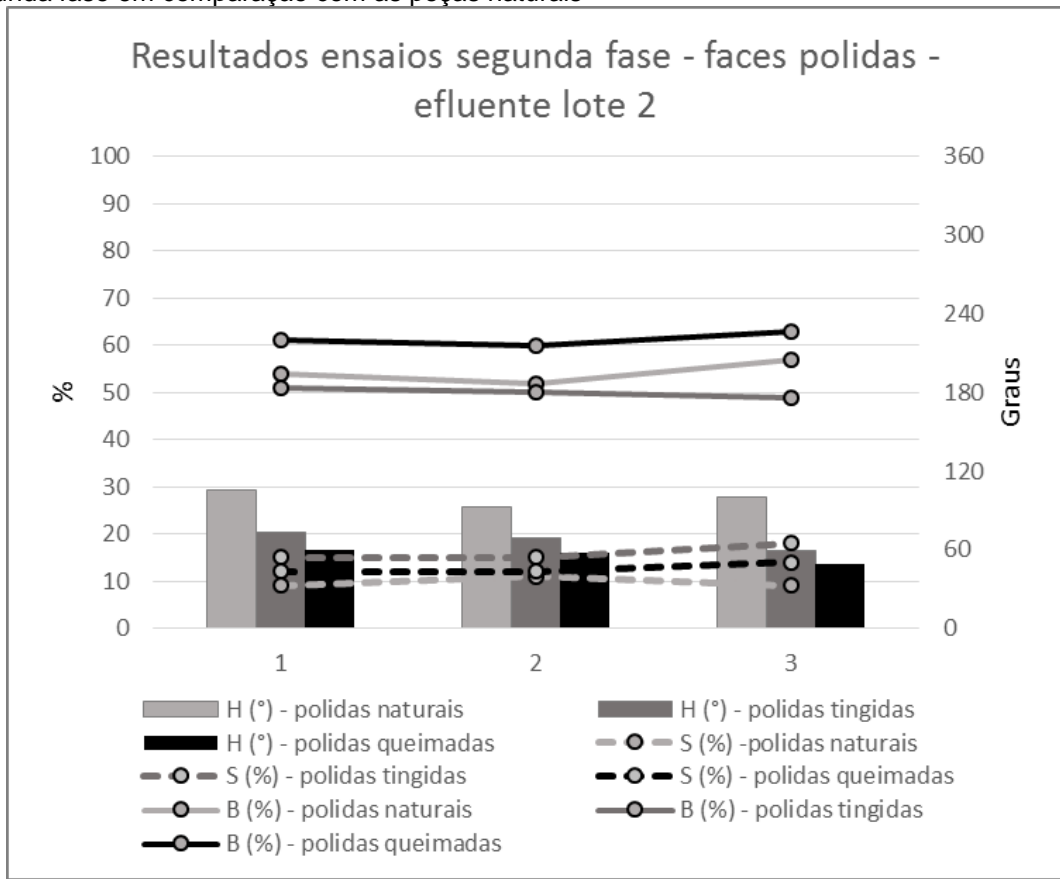


Gráfico 5 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces não polidas das peças resultantes dos 3 ensaios da segunda fase em comparação com as peças naturais

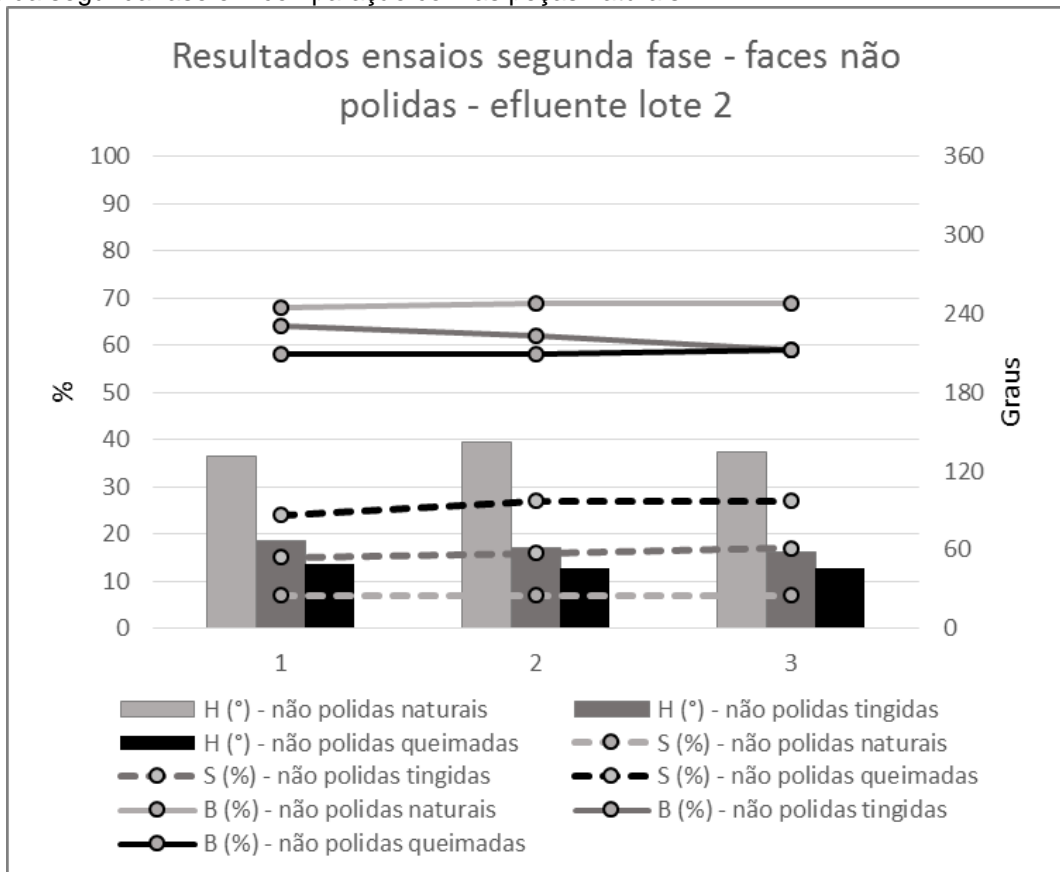
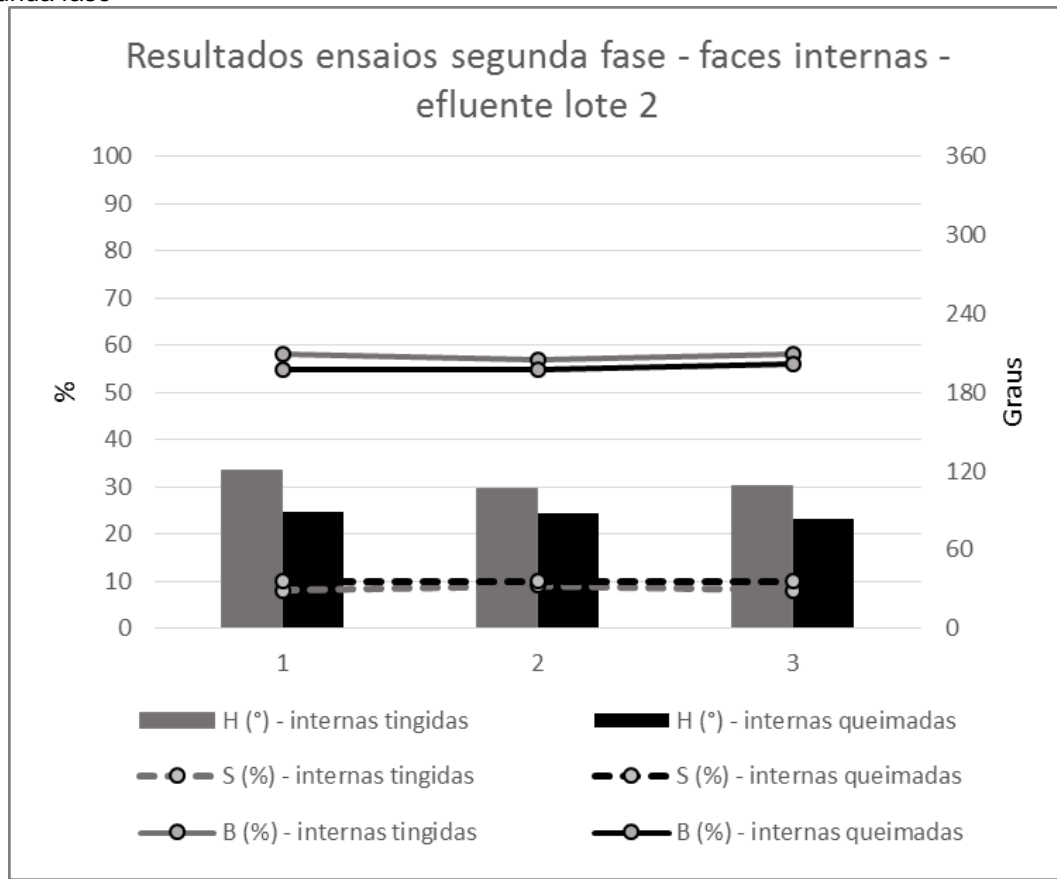


Gráfico 6 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces internas das peças resultantes dos 3 ensaios da segunda fase



Após o tingimento, houve alteração significativa nos padrões dos parâmetros H(°), S(%) e B(%) das faces das amostras. Houve redução nos parâmetros H(°), indicando tonalidades mais amarelo-avermelhadas, e B(%), indicando cores mais escuras. Aumento na saturação – parâmetro S(%) – também foi identificado em todos os ensaios.

Após a queima das peças tingidas, nas faces externas, foram identificadas novas reduções no parâmetro H(°) com nova aproximação dos resultados com os padrões de matiz vermelha. Apesar desta, comportamento distinto entre as alterações identificadas nos parâmetros das faces polidas e não polidas foi verificado.

Nas faces polidas puderam ser mensuradas reduções nos padrões do parâmetro B(%), indicando tonalidade mais escura, e aumentos nos padrões S(%), indicando maior pureza da matiz. Já nas faces não polidas, comportamento contrário foi identificado, havendo aumentos no brilho, indicando tonalidade mais clara, e reduções na saturação, indicando menor pureza da matiz.

Comportamento semelhante ao identificado nas faces polidas foi identificado nas faces internas após a queima, com maior aproximação da matiz com tons avermelhados, redução do brilho e aumento da pureza da matiz.

Cabe salientar que os padrões dos parâmetros H(^o), S(%) e B(%) identificados nas faces internas – com rugosidade intermediária entre as identificadas nas faces polidas e não polidas –, apesar da impossibilidade de identificação visual da impregnação do pigmentante nas amostras serradas, ocuparam faixa intermediária entre as identificadas nas faces externas polida e não polida na coloração natural, indicando influência da rugosidade na percepção de cor. De forma análoga, pode-se perceber a influência da rugosidade nos resultados obtidos, permitindo ser suposta a interferência direta da área disponível para deposição do pigmentante, com os resultados finais.

Ainda considerando os resultados obtidos na segunda fase de experimentos, quando comparados estes aos resultados obtidos na primeira fase, pode-se perceber significativa deposição de material pigmentante nas faces externas das amostras de rocha, indicando forte influência da variável temperatura. Após a análise e comparação dos resultados obtidos nas duas fases pode-se identificar maior agilidade ao processo sendo verificados resultados semelhantes entre os processos realizados por simples imersão, ou utilizando cargas de vácuo e pressão, por 96 horas e os processos sob aquecimento a 90°C por uma hora e meia.

Complementarmente, considerando os resultados das análises química e dos resultados obtidos nas faces internas após a queima das peças, supõe-se, nova interferência da variável temperatura para a oxidação no ferro, pertencente à própria amostra, exposto nas superfícies.

4.4.3 Análises quantitativas das colorações obtidas na terceira fase de ensaios

Considerando os resultados obtidos nas fases anteriores, os da terceira foram idealizados na busca das condições de desenvolvimento de processo capaz de impregnar o pigmentante na rocha. Conforme abordado anteriormente, considerando a influência das variáveis tempo e calor nos resultados, foi reduzida a temperatura e aumentado o tempo de exposição das peças ao efluente nesta.

A partir dos critérios estabelecidos e experimentos realizados, os resultados mensurados utilizando software Adobe Photoshop® são apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11 e nos Gráficos 7 a 15 de acordo com os lotes de efluentes utilizados.

4.4.3.1. Análises quantitativas das colorações obtidas na terceira fase de ensaios – lote 1

Realizados utilizando efluente do lote 1, os resultados dos experimentos da primeira etapa da terceira fase tiveram seus resultados comparados entre si, com os realizados com efluente do mesmo lote na primeira fase e com os da segunda fase, realizados também utilizando calor/temperatura.

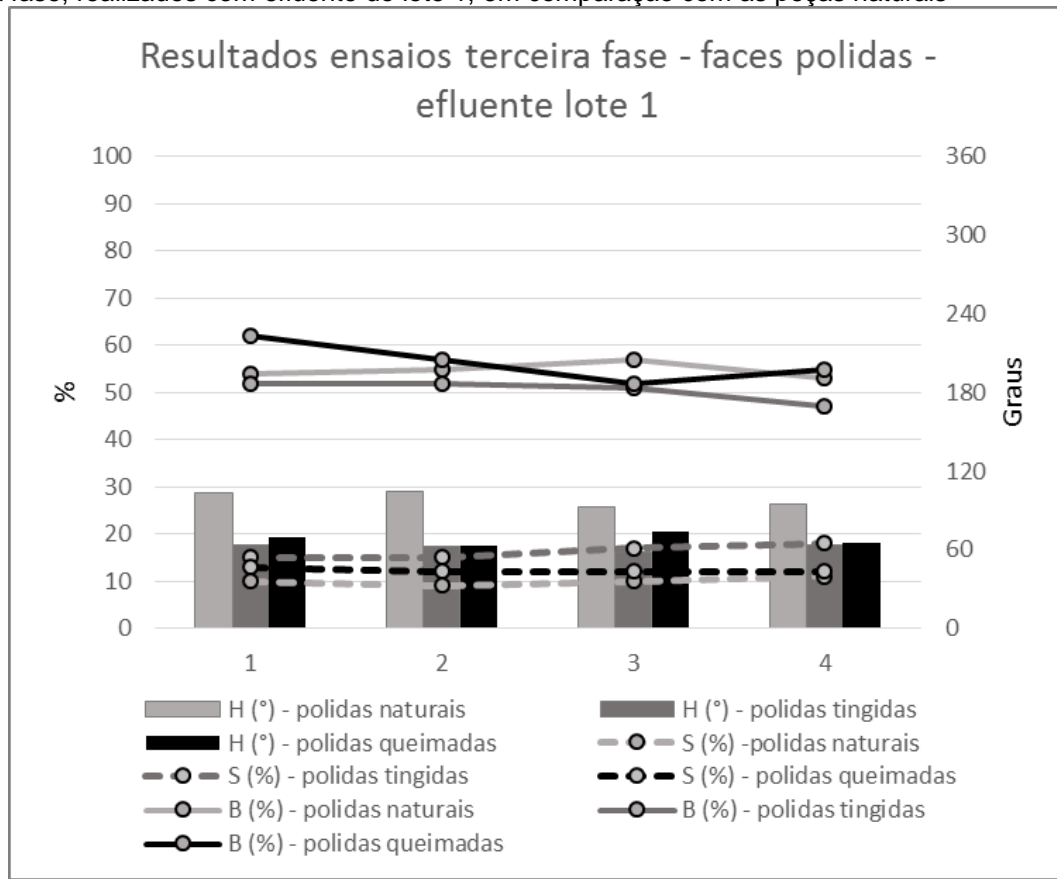
Os resultados obtidos pela análise das peças processadas na terceira fase de ensaios utilizando efluente do lote 1 são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas e não polidas das peças resultantes dos 4 ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1, em comparação com os das peças naturais

Parâmetro	Ensaio 1											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Face polida natural				Face não polida natural							
H (°)	103	104	93	95	141	136	133	138				
S (%)	10	9	10	11	7	6	6	7				
B (%)	54	55	57	53	68	70	69	68				
	Face polida tingida				Face não polida tingida				Face interna tingida			
H (°)	64	62	58	64	70	62	58	66	120	127	120	128
S (%)	15	15	17	18	12	12	15	14	8	9	7	9
B (%)	52	52	51	47	63	64	64	64	53	53	57	54
	Face polida queimada				Face não polida queimada				Face interna queimada			
H (°)	70	63	74	65	57	53	48	51	84	93	91	89
S (%)	13	12	12	12	18	20	25	23	11	10	10	11
B (%)	62	57	52	55	56	57	56	55	53	52	54	54

Os resultados da variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1, em comparação com as peças naturais, são apresentados no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1, em comparação com as peças naturais



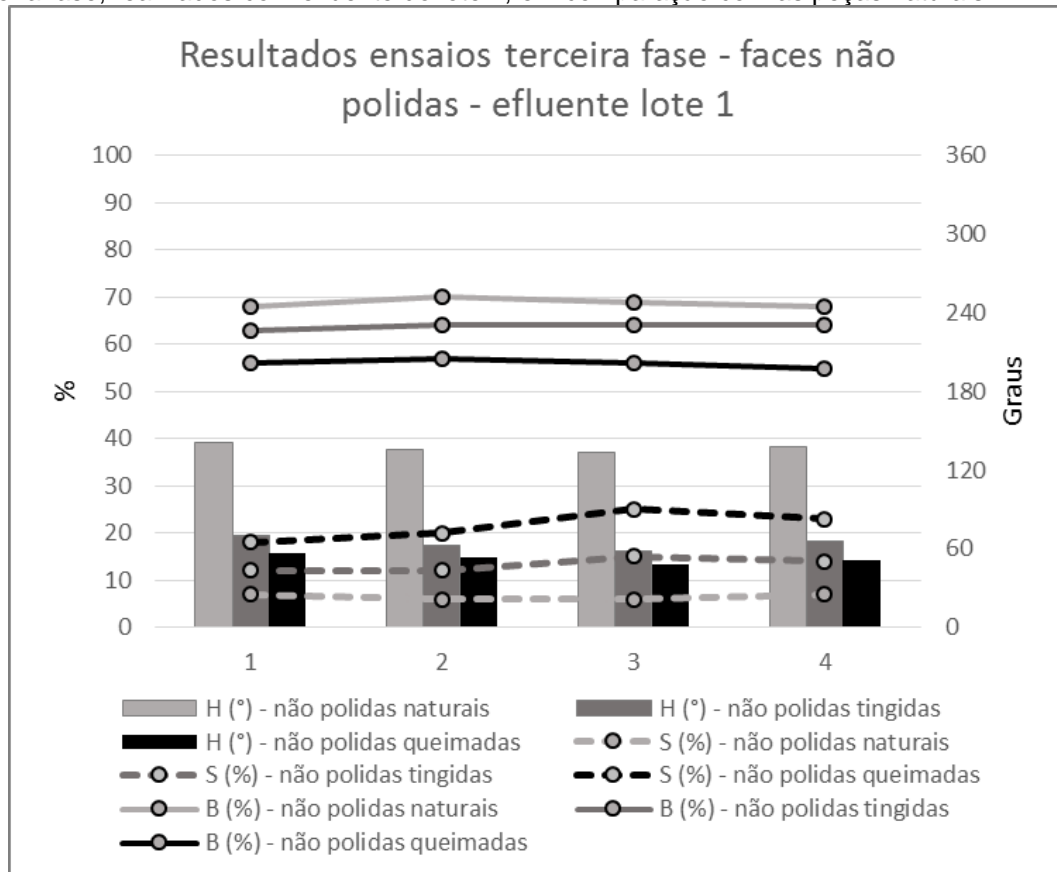
Conforme apresentado, os resultados obtidos nas faces polidas das amostras apresentaram significativa redução do parâmetro H(°) quando comparados com os padrões das peças na coloração natural após o contato com o efluente. Cabe salientar que pequenas variações podem ser verificadas, mas não vinculadas aos incrementos de tempo. Após a queima, podem ser verificados pequenos aumentos nos resultados, relativamente maiores nos ensaios 1 e 3.

Também os padrões do parâmetro B(%) apresentaram reduções após o contato das peças com o pigmentante, com pequenas reduções a partir dos incrementos de tempo de exposição. Já após a queima foi percebida movimentação contrária à verificada após o tingimento, com significativo aumento do parâmetro no primeiro e no quarto ensaios, pequeno aumento no segundo e estabilidade no terceiro.

Já a análise do parâmetro S(%) apresentou, assim como nos ensaios das fases anteriores, crescimento após o contato das amostras com o efluente, havendo leve incremento a partir da elevação dos tempos de exposição. Após a queima pode ser verificada leve queda nos padrões do parâmetro em relação às peças tingidas, sendo este reduzido com a variação do tempo até atingir resultado semelhante aos verificados na coloração natural no último ensaio.

No Gráfico 8 são apresentadas as variações dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces não polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1, em comparação com as peças naturais.

Gráfico 8 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces não polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1, em comparação com as peças naturais



Nas faces não polidas, puderam ser mensuradas variações de maior monta, em todos os parâmetros, quando comparados aos das faces polidas.

Pode ser verificada redução do parâmetro $H(^{\circ})$ em todos os ensaios após o tingimento e nova redução após a queima. Cabe salientar que quando analisados e comparados os resultados dos processos de tingimento não pode ser percebida relação entre a variações da matiz com os incrementos de tempo.

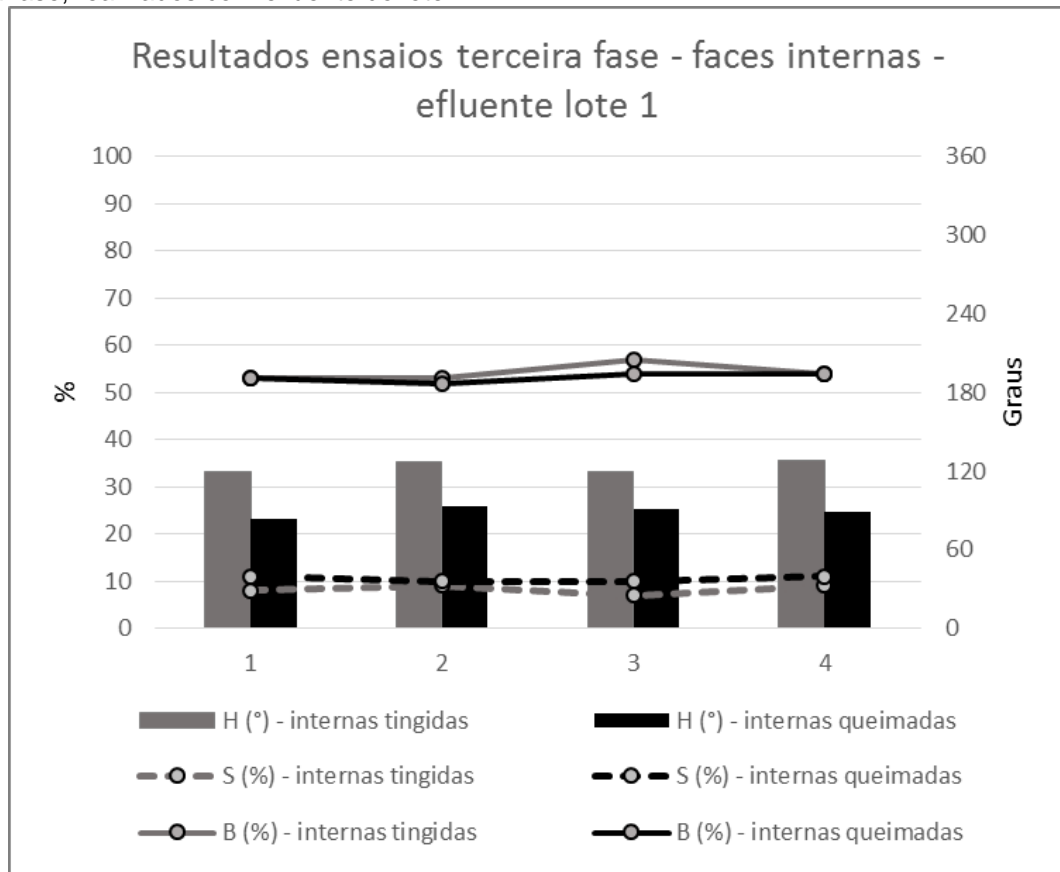
Decréscimo também foi verificado nos padrões do parâmetro $B(\%)$ em todos os ensaios após o tingimento e novamente após a queima. Assim como do parâmetro $H(^{\circ})$ não podem ser diretamente relacionadas as variações do parâmetro ao incremento de tempo.

Com variação positiva, o parâmetro $S(\%)$ apresentou crescimentos após o tingimento e após a queima. Assim como nos outros dois parâmetros, apesar dos

incrementos relativos verificados a cada incremento de tempo, não pode ser atribuída proporção entre estes.

Assim como para as faces polidas e não polidas, no Gráfico 9 são apresentadas as variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces internas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1.

Gráfico 9 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces internas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1



A análise das faces internas após o corte, assim como nos experimentos anteriores, não permitiu a identificação da alteração de cor, por impregnação do efluente, mesmo próximo das faces expostas a este.

Após a queima das peças, puderam ser verificadas, nas faces internas, alterações de maior monta na matiz, com aproximação desta com tonalidades amareladas/avermelhadas, e menor na saturação. O brilho não apresentou variação nos resultados do primeiro e quarto ensaios, insignificante no segundo e pequena no terceiro.

Ao serem comparados os resultados com os obtidos com efluente do mesmo lote realizados na primeira fase, pode-se perceber que houve pequena redução no parâmetro $H(^{\circ})$ das faces polidas e equivalência no das faces não polidas, nos da terceira, não sendo estes inferiores apenas aos do último ensaio da primeira fase. Nos outros

parâmetros não foram identificadas alterações consideradas significativas para alteração da cor final nas peças tingidas. Tais resultados indicam que a utilização de calor, mesmo que em temperatura pouco superior a ambiente em muitos momentos, propicia maior agilidade na obtenção de resultados satisfatórios.

Considerando os resultados obtidos nos experimentos da segunda fase, puderam ser identificadas igualmente reduções no parâmetro H(°) nas faces polidas e equivalentes nas não polidas da terceira fase, apesar da redução na temperatura de execução dos processos. Pode-se atribuir os resultados à maior concentração de Fe total no efluente pertencente ao lote 1.

4.4.3.2. Análises quantitativas das colorações obtidas na terceira fase de ensaios – lote 2

Realizados utilizando efluente pertencente ao lote 2, mesmo utilizado na segunda fase de ensaios, os experimentos tiveram seus resultados comparados entre si, com os da primeira fase, da segunda fase e com efluente do lote 1 na terceira fase.

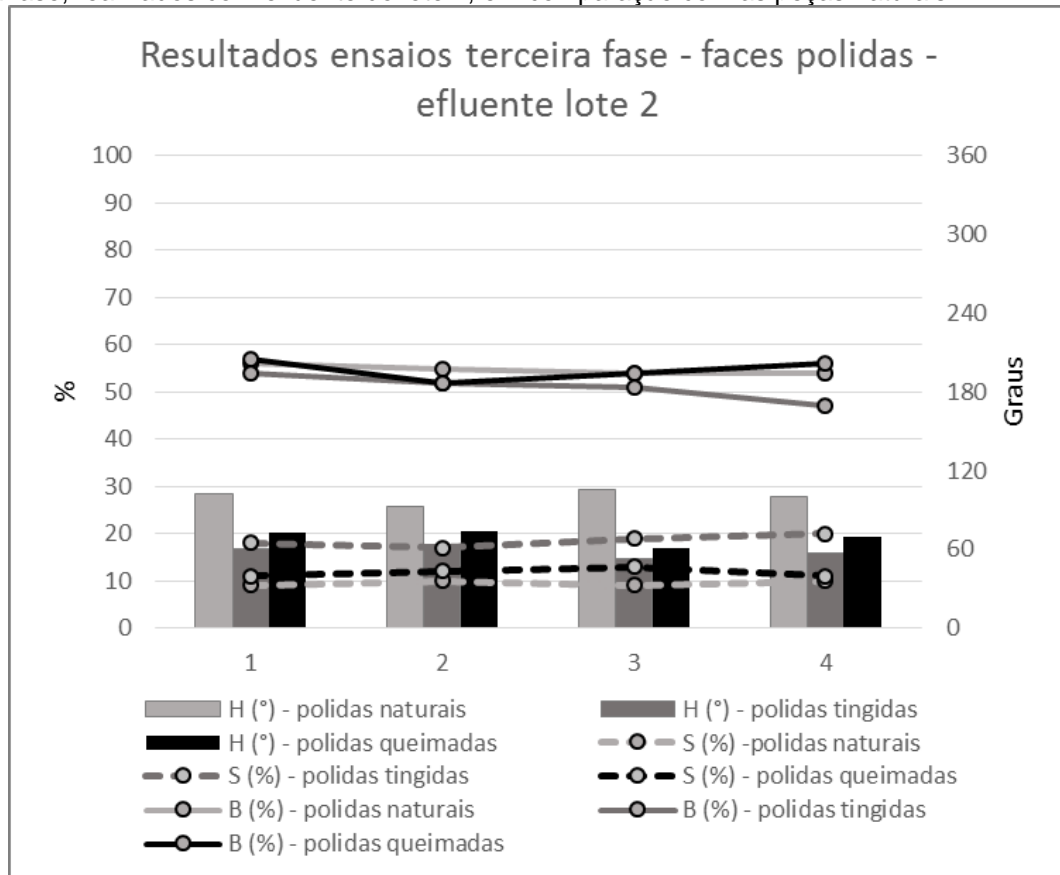
Os resultados obtidos pela análise das peças processadas na terceira fase de ensaios utilizando efluente do lote 2 são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas e não polidas das peças resultantes dos 4 ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2, em comparação com os das peças naturais

Parâmetro	Ensaio 2											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Face polida natural				Face não polida natural							
H (°)	102	93	106	100	143	116	85	137				
S (%)	9	10	9	10	7	7	10	7				
B (%)	56	55	54	54	69	67	67	69				
	Face polida tingida				Face não polida tingida				Face interna tingida			
H (°)	60	61	53	57	66	60	44	49	130	123	127	102
S (%)	18	17	19	20	13	16	25	20	9	8	9	9
B (%)	54	52	51	47	65	63	66	65	55	57	53	56
	Face polida queimada				Face não polida queimada				Face interna queimada			
H (°)	73	74	61	70	60	56	48	51	94	88	93	84
S (%)	11	12	13	11	17	20	25	24	10	10	10	11
B (%)	57	52	54	56	54	54	53	54	54	56	53	54

Os resultados da variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2, em comparação com as peças naturais, são apresentados no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2, em comparação com as peças naturais

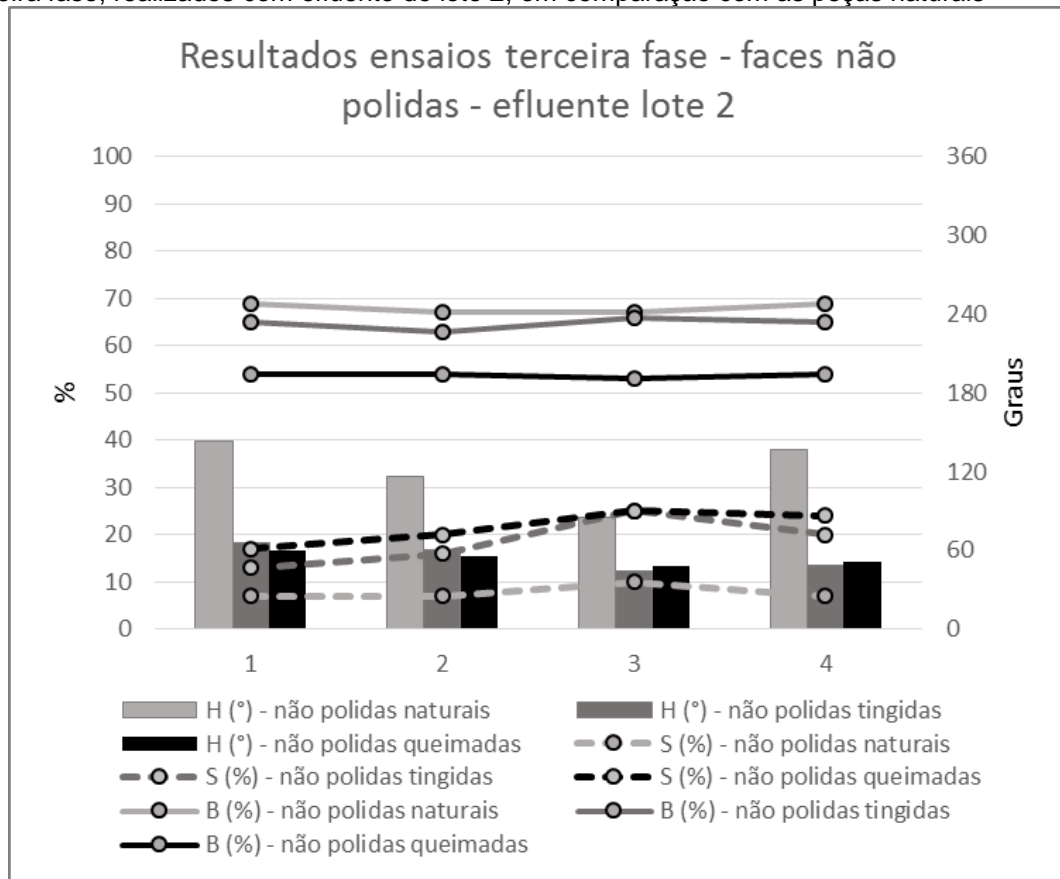


Comportamento semelhante ao verificado nos experimentos utilizando efluente do lote 1 na terceira fase foram verificados nos resultados dos com lote 2 nas faces polidas. Foram verificadas redução dos padrões da matiz após o tingimento e aumentos após a queima, redução do brilho após o tingimento e oscilação/variação não linear após a queima e aumento da saturação após o tingimento e redução, a padrões próximos aos das peças nas colorações naturais, após a queima.

Cabe salientar que as variações nos resultados verificadas na comparação dos resultados dos dois primeiros e dos dois últimos ensaios não apresentam proporcionalidade com as variações de tempo.

No Gráfico 11 são apresentadas as variações dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces não polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2, em comparação com as peças naturais.

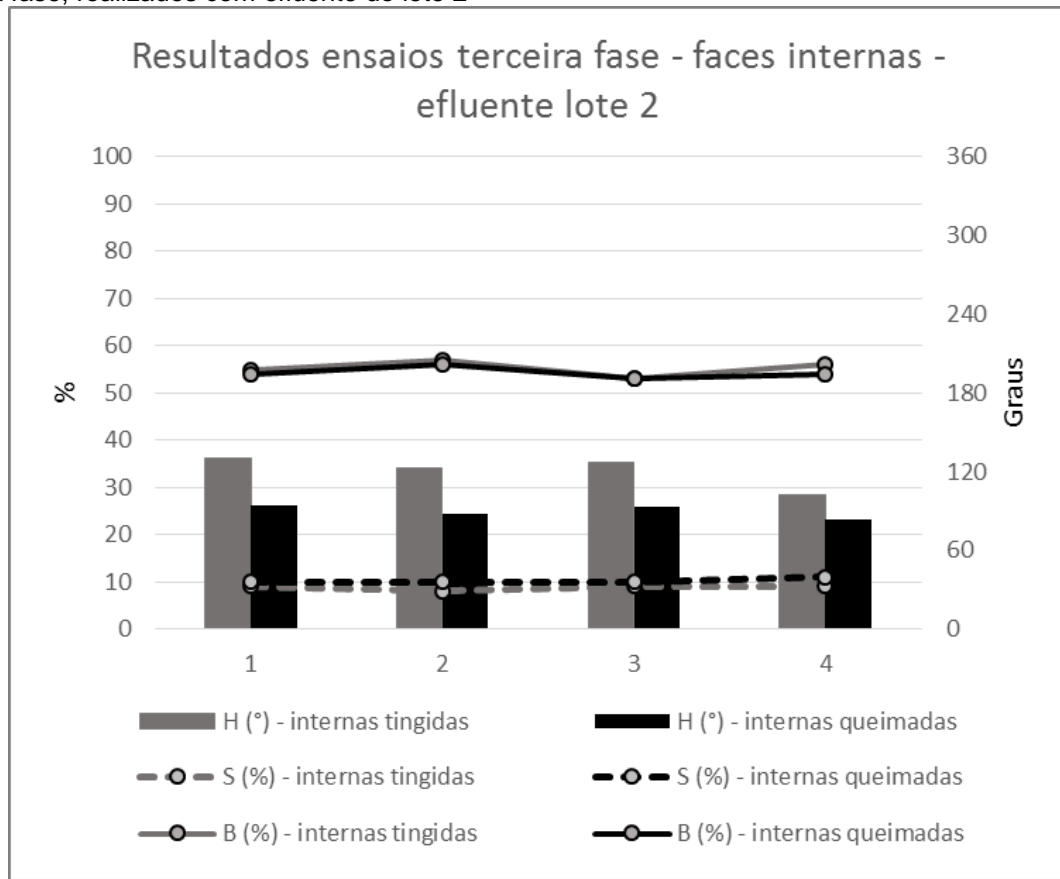
Gráfico 11 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces não polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2, em comparação com as peças naturais



Nas faces não polidas também foi verificado comportamento semelhante ao das processadas utilizando com efluente do lote 1. Apesar da semelhança, foram percebidas reduções, pouco significativas, nos dois últimos ensaios após a tingimento e aumentos, igualmente pouco significativos, na matiz das peças após a queima. Pode ser percebida também redução pouco significativa na comparação do brilho das peças antes e após o tingimento e da saturação, antes e após a queima, no terceiro experimento.

Assim como para as faces polidas e não polidas, no Gráfico 12 são apresentadas as variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces internas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2.

Gráfico 12 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces internas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 2



Assim como verificado nos experimentos realizados com efluente do lote 1, após o corte das peças tingidas, não foi possível a identificação de alteração de cor provocada pela impregnação do pigmentante na amostra, mesmo que próximo das faces tingidas. Também foi identificado comportamento dos padrões dos parâmetros na análise das faces internas também muito semelhante ao dos experimentos da terceira fase já analisados.

Quando comparados aos resultados obtidos na primeira fase, nestes pode ser percebido pequeno decréscimo no parâmetro H(°), semelhança no S(%) e pequena redução em B(%) nas faces polidas e não polidas, apesar da menor concentração de Fe total no efluente 2.

Apesar da semelhança com os obtidos na primeira fase, resultados interessantes foram percebidos, quando comparados aos dos experimentos realizados na segunda fase, utilizando efluente do mesmo lote. Reduções no padrão das matizes e do brilho e aumento na saturação das cores obtidas, podem ser verificados em todos os ensaios. Tais variações não podem ser atribuídas a diferenças nas características naturais das rochas, pois na comparação, estas apresentam grande semelhança.

4.4.3.3. Análises quantitativas das colorações obtidas na terceira fase de ensaios – lote 3

Os últimos experimentos, utilizando efluente do lote 3, tiveram seus resultados comparados aos demais obtidos para nova análise da concentração do efluente nestes.

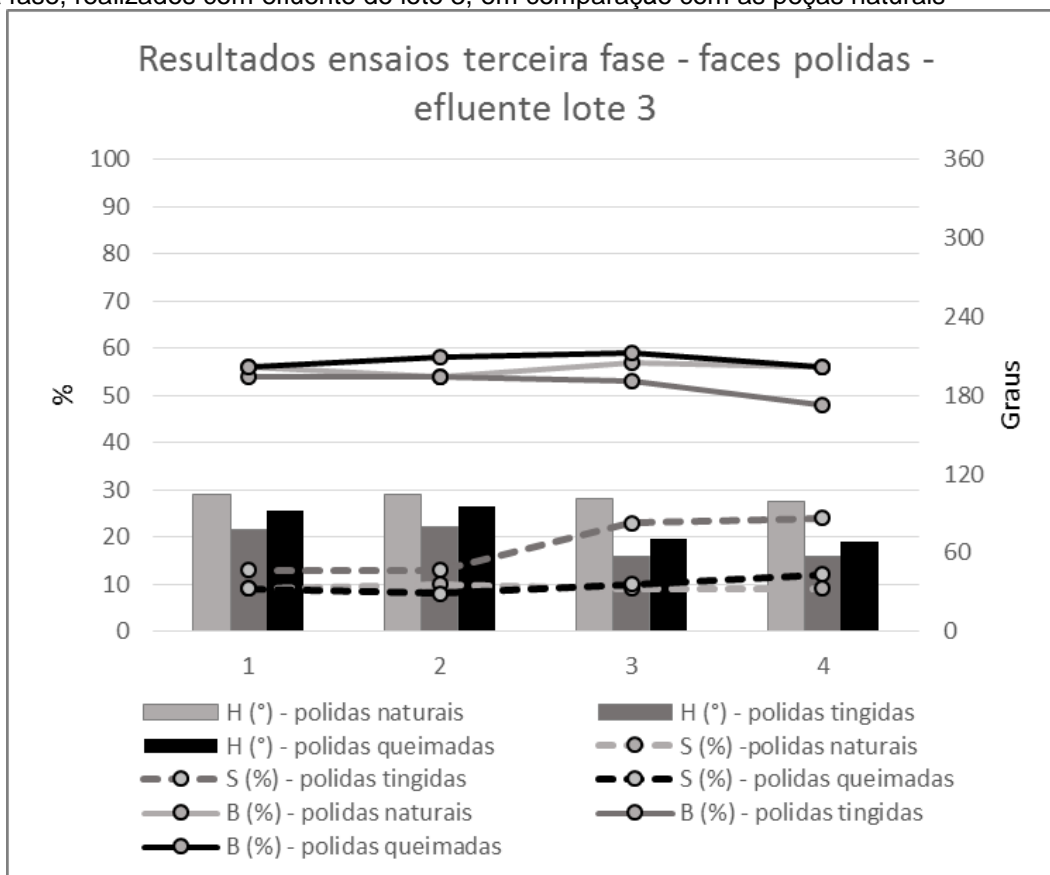
Os resultados obtidos pela análise das peças processadas na terceira fase de ensaios utilizando efluente do lote 3 são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas e não polidas das peças resultantes dos 4 ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 3, em comparação com os das peças naturais

Parâmetro	Ensaio 3											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Face polida natural				Face não polida natural							
H (°)	104	104	101	99	139	130	143	134				
S (%)	9	10	9	9	7	7	7	6				
B (%)	56	54	57	56	69	68	70	70				
	Face polida tingida				Face não polida tingida				Face interna tingida			
H (°)	78	80	57	57	99	95	66	56	109	111	111	121
S (%)	13	13	23	24	8	9	15	20	8	8	8	8
B (%)	54	54	53	48	67	67	66	64	56	59	57	53
	Face polida queimada				Face não polida queimada				Face interna queimada			
H (°)	92	95	71	68	98	93	67	56	88	87	82	89
S (%)	9	8	10	12	8	10	12	18	9	10	11	11
B (%)	56	58	59	56	60	58	60	56	57	56	56	53

Os resultados da variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 3, em comparação com as peças naturais, são apresentados no Gráfico 13.

Gráfico 13 – Variação dos padrões H(°), S(%) e B(%) nas faces polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 3, em comparação com as peças naturais



Nas faces polidas comportamento semelhante ao verificado nos demais experimentos realizados na terceira fase foi identificado, com redução dos padrões de matiz e brilho após o tingimento e aumento após a queima e aumento da saturação após o contato das peças com o efluente e redução após a queima.

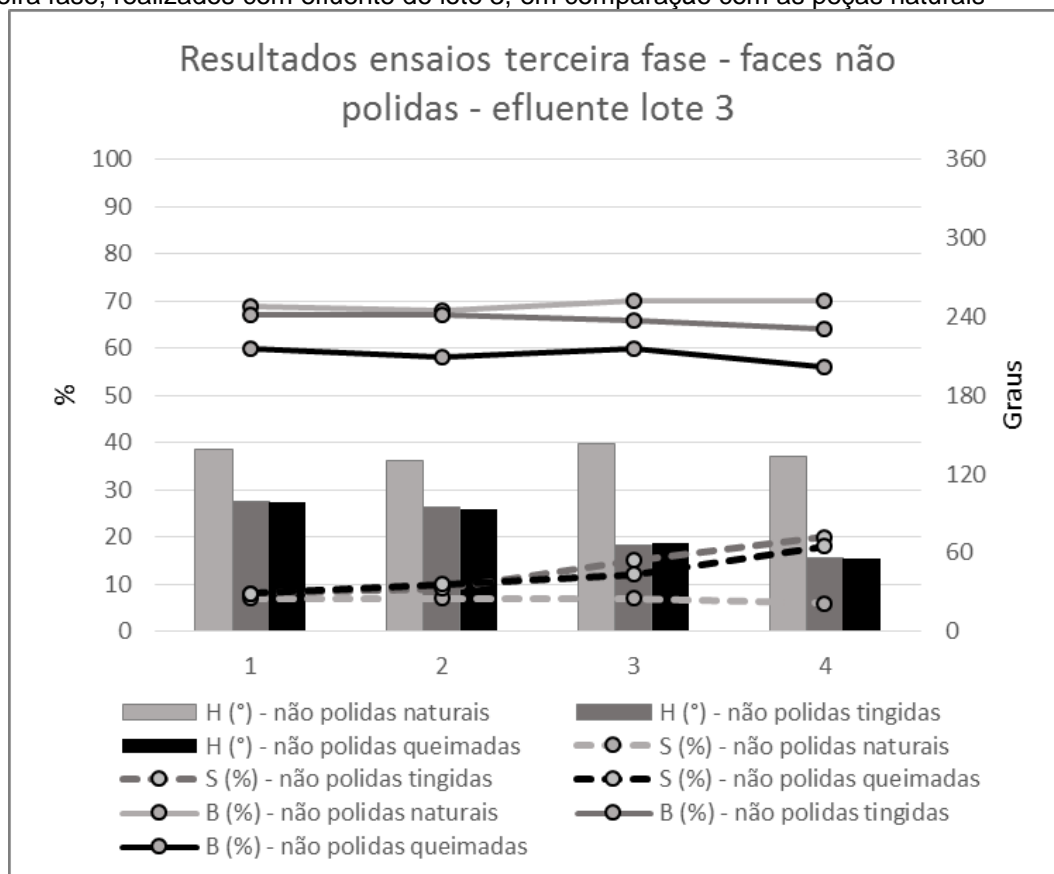
Apesar da semelhança no comportamento, variações antes insignificantes, neste foram mais intensas, principalmente quando comparadas as matizes antes e após o processo de queima das peças.

O brilho e a saturação das cores resultantes nos dois primeiros ensaios apresentaram pouca variação quando comparados aos das peças na coloração natural. Nos dois com maior duração, alterações de maior monta nestes parâmetros puderam ser percebidas antes da queima, variações estas praticamente anuladas após.

Quando comparados com os resultados auferidos, nas faces polidas, na primeira fase, foram percebidos padrões de H(°) com graduação superior, tendendo a tons menos amareladas/alaranjadas, nos primeiros dois resultados – com duração de uma e uma hora e meia, respectivamente – e com graduação inferior, tendendo a tons mais amarelados/alaranjados nos com maior duração.

No Gráfico 14 são apresentadas as variações dos padrões $H^{(0)}$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces não polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 3, em comparação com as peças naturais.

Gráfico 14 – Variação dos padrões $H^{(0)}$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces não polidas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 3, em comparação com as peças naturais



Na análise das faces não polidas pode ser percebido comportamento diferenciado nos padrões de cor obtidos nos dois primeiros e dois últimos ensaios. O padrão de alteração do parâmetro $H^{(0)}$ após o tingimento, também percebido nos resultados dos ensaios desta terceira fase obtidos anteriormente, foi intensificado nos dois últimos ensaios realizados com efluente do lote 3. Nestes podem ser atribuídas as variações ao aumento sequencial dos tempos de exposição das peças ao efluente.

Os aumentos, alguns significativos, nas graduações da matiz percebidos em diversos resultados dos experimentos anteriores após a queima, não foram identificados, sendo mantidos os padrões anteriores obtidos após o contato das peças com o pigmentante.

Significativa redução do brilho das peças queimadas quando comparadas com as naturais e aumento gradual da saturação, de acordo com o aumento do tempo de

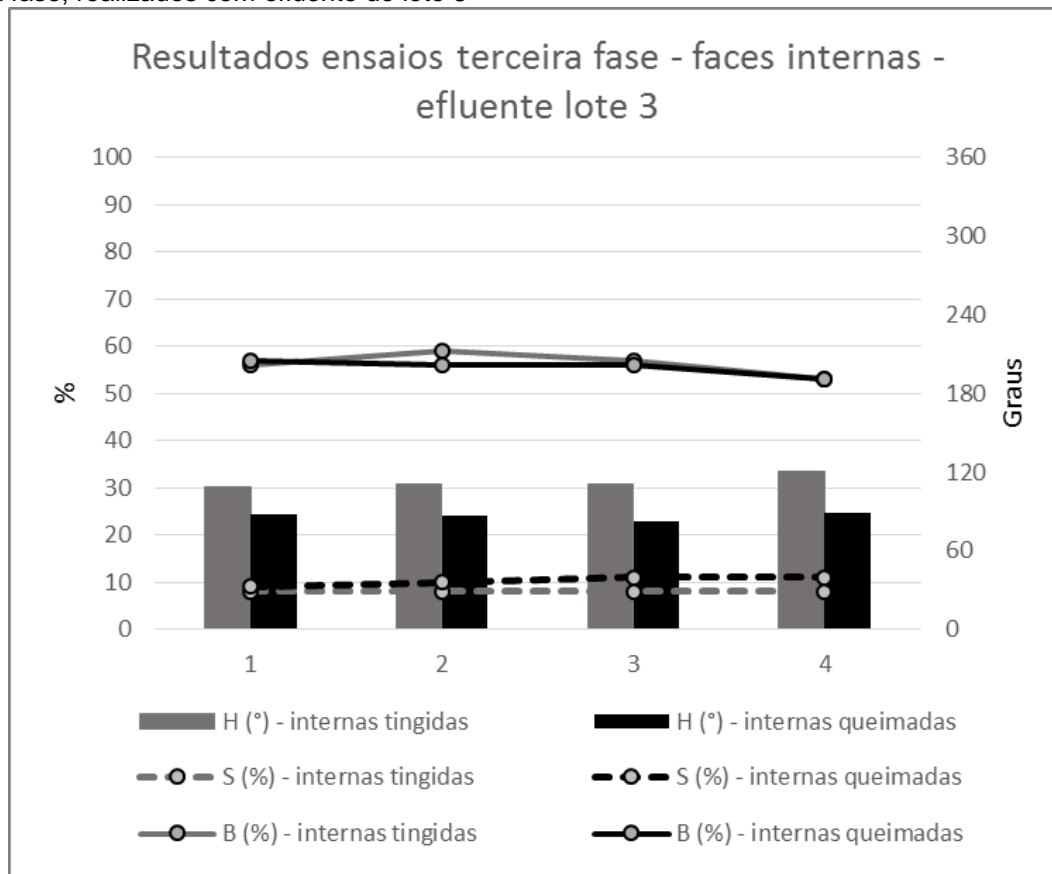
exposição das peças ao efluente, foram identificados entre os resultados dos quatro experimentos.

Quando comparados com os resultados auferidos na primeira fase de experimentos, os dos dois primeiros apresentaram matizes menos amareladas/avermelhadas. Já no terceiro e quarto, resultado semelhante aos dos ensaios 7 a 9 e intermediários entre o nono e décimo ensaios da primeira fase foram, respectivamente, identificados.

Resultado semelhante foi obtido na comparação dos padrões com os auferidos na segunda fase. Quando comparados com os da segunda, o terceiro apresentou alteração idêntica e o quarto maior, havendo maior aproximação das graduações de matiz amareladas/avermelhadas, maior saturação e brilho idêntico.

Assim como para as faces polidas e não polidas, no Gráfico 15 são apresentadas as variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces internas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 1.

Gráfico 15 – Variação dos padrões $H(^{\circ})$, $S(\%)$ e $B(\%)$ nas faces internas das peças resultantes ensaios da terceira fase, realizados com efluente do lote 3



Por fim, na análise das faces internas pode ser percebida a manutenção do comportamento de variação identificado nas análises anteriores, havendo a não

identificação visual da impregnação do efluente na peça e a redução nos padrões da matiz e manutenção dos padrões de saturação e brilho.

Apesar da manutenção do comportamento, as diferenças nos parâmetros auferidas nos processos utilizando efluente pertencente ao lote 3 foram, de forma geral, menos representativas que as verificadas nos experimentos anteriores. Considerando a utilização de amostras aleatoriamente escolhidas e a alguma homogeneidade na distribuição das cargas de ferro naturalmente encontradas na rocha, tal comportamento permite supor – devendo haver estudo para comprovação/validação – que há possibilidade de ter ocorrido a impregnação de ferro do efluente nas amostras de acontecendo o processo de oxidação deste durante a queima. Outra alternativa, igualmente não comprovada, é a oxidação de Fe pertencente à liga metálica da serra utilizada, depositada nas amostras durante os processos de corte.

4.5 Análise geral dos ensaios e definição do processo para a análise de investimento

As análises qualitativas e quantitativas permitiram verificar que a realização dos processos sob aquecimento de 90°C, dentre os estudados, propicia os melhores resultados. Nestes, realizados na segunda fase de ensaios, foi possível a alteração das cores das amostras com maior agilidade, habilitando-os, em primeira análise, à utilização industrial.

Dada a viabilidade, os padrões de processo da segunda fase de ensaios foram utilizados como base para as análises de viabilidade de investimento.

4.6 Análise de investimento

Conforme já abordado, as análise de investimento foram desenvolvidas considerando, entre outros, os riscos envolvidos no transporte do efluente, sendo por isto estimados e analisados os custos e retornos do desenvolvimento dos processos junto às empresas de beneficiamento de ágata, em Soledade – RS. Além destes, foram também, considerando a centralização da extração e comercialização do basalto na região de Nova Prata – RS, foram igualmente estimados os custos e retornos da indústria

de beneficiamento de basalto para o envio dos materiais para tingimento em Soledade - RS.

Para utilização de critério único, considerando as métricas diferenciadas utilizadas por cada uma das indústrias em seus processos, foram determinadas proporções entre peso, medida utilizada pela indústria da ágata, e metros quadrados, pela de basalto. Para tanto foi verificado peso aproximado por volume de rocha nas amostras e determinadas proporções de área de rocha e seus respectivos pesos, utilizando-se espessuras pré-determinadas.

As análises das amostras de rocha apontaram peso aproximado de 3 gramas para cada cm^3 de rocha. Posto isto, considerando peças de rocha com espessura de 3 cm, cada metro quadrado, proporcionalmente, foi quantificado em 90 kg e com 4 cm, 120 kg.

Inversamente, pode-se utilizar a proporção de $0,0111 \text{ m}^2$, em peças com 3 cm de espessura, e $0,0083 \text{ m}^2$, em peças com 4 cm de espessura, de face útil a cada kg de rocha tingida.

4.6.1 Análise de investimento da indústria de beneficiamento da ágata

A análise de investimento para indústria de beneficiamento de ágata, de acordo com os padrões e necessidades do processo utilizado na segunda fase de ensaios, foi baseada em valores obtidos junto ao mercado de Soledade – RS. Foram efetuados orçamentos informais para aquisição de utensílios e insumos, bem como verificados os preços praticados pelo mercado da ágata, para prestação de serviço de tingimento, utilizado como parâmetro de cálculo.

Cabe salientar que por não haver qualquer prestação de serviços de tingimento de rocha utilizando efluentes dos processos de tingimento de ágata sendo realizada atualmente, variações nos valores utilizados no presente estudo poderão sofrer variações se, ou quando, efetivamente desenvolvidos, industrial e comercialmente.

Para efeito de cálculo inicial não foram considerados os custos envolvidos na queima das peças, pois tal processo foi considerado como complementar devido às significativas alterações nos padrões de cor obtidos nos processos de tingimento.

As informações obtidas são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Custos unitários para desenvolvimento dos processos de tingimento, sob aquecimento a 90°C, junto a indústria de beneficiamento de ágata

Custos unitários médios de utensílios complementares	
Tambor metálico com capacidade de 100 litros	R\$ 180,00
Bombona plástica com capacidade de 80 litros	R\$ 180,00
Custos de processamento	
Metro cúbico de madeira	R\$ 60,00
Valor passível de cobrança	
Valor, aproximado, cobrado para o tingimento de um quilograma de ágata	R\$ 3,50

Para efeito de cálculo, considerando a utilização das estruturas físicas e de pessoal já existentes na indústria, as análises foram desenvolvidas por conjunto composto por um tambor e uma bombona plástica, sendo possível, mantidas as condições, a mensuração dos custos e resultados obtidos pela multiplicação destes pela quantidade.

Calculada a partir da proporção de 100ml de efluente para cada peça de 18cm³ de rocha cada conjunto apresenta capacidade máxima, aproximada, para o tingimento de 13,5 kg de rocha por processo. Dadas as proporções apresentadas anteriormente, cada lote ou batelada, possibilita o beneficiamento de 0,15 m² de rocha com espessura de 3 cm e 0,11 m² de rocha com espessura de 4 cm.

Os custos diretos envolvidos nos processos de beneficiamento, sempre considerando a utilização da estrutura existente, resumem-se ao maior consumo de madeira para aquecimento no sistema. Para efeito de cálculo foi estimado consumo diário, para produção contínua, de 0,2m³ de madeira, o que representa custo de R\$ 12,00/dia.

Utilizando como padrão o tempo máximo de uma hora e meia, utilizado para realização dos ensaios na segunda fase como padrão, acrescido de, no máximo, meia hora para a retirada dos materiais tingidos e inicialização de novo processo com peças na coloração natural, cada conjunto possibilita a produção mínima, em 8 horas de expediente, de 4 lotes de peças tingidas por dia.

A compilação dos dados, por conjunto, bem como o cálculo da margem de contribuição resultante, é apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 – Cálculo da margem de contribuição gerada pelo processo de tingimento para a indústria de beneficiamento de ágata

Faturamento diária estimado	
(a) Processamento de quatro lotes de 13,5 kg/dia a R\$ 3,50/kg	R\$ 189,00
Faturamento diária estimado	
(b) Custo com madeira para aquecimento do sistema	R\$ 12,00
Custo diário para desenvolvimento dos processos	
(a – b) Margem de contribuição diária	R\$ 177,00
Margem de contribuição por batelada	R\$ 44,25

A partir da margem de contribuição e do investimento inicial, considerando a produção constante e a reposição mensal dos utensílios, foram calculados o *payback* e a TIR.

O *payback* dos R\$ 360,00 relativos à aquisição do tambor e da bombona acontece na durante a nona batelada, ou seja, no início do terceiro dia em sendo realizados quatro processos ao dia.

Para TIR foi utilizado prazo de um mês, período estimado para reposição dos utensílios. Contemplando 22 dias úteis em média, o período permite a realização de 88 processos que poderão gerar, aos valores utilizados, rentabilidade de R\$ 3.534,00 ou taxa de retorno de 981,67%, relativa ao investimento de R\$ 360,00. Comparativamente às taxas de retorno de investimentos tradicionais, disponíveis junto às instituições bancárias, a do investimento no processo apresenta significativa superioridade.

Considerando os montantes envolvidos e o rápido retorno do investimento, não foram desenvolvidas as análises do Valor Presente Líquido e do Índice de Lucratividade inicialmente previstas.

4.6.2 Análise de investimento da indústria de beneficiamento da basalto

Assim como para a indústria de beneficiamento da ágata, foi efetuada a análise de investimento da indústria de beneficiamento de basalto no sistema. Para tanto foram verificados, junto ao mercado, os custos de transporte, além do de contratação do serviço de tingimento, e valores passíveis de serem auferidos, para o dimensionamento da viabilidade de investimento no processo.

Os valores de transporte, contratação do serviço de tingimento e de venda dos materiais na coloração natural utilizados como base para os cálculos são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores orçados e estimados para análise de investimento da indústria de beneficiamento de basalto no sistema

Custos unitários médios de utensílios complementares	
Custo de transporte entre Nova Prata e Soledade por quilograma – R\$ 1.000,00 por carga com 15 ton	R\$ 0,07
Custos de tingimento	
Metro quadrado com espessura de 3 cm – 90 kg a R\$ 3,50/kg	R\$ 315,00
Metro quadrado com espessura de 4 cm – 120 kg a R\$ 3,50/kg	R\$ 420,00
Preço de venda dos materiais na coloração natural	
Retalho (m ²)	R\$ 25,00
Cortada irregular (m ²)	R\$ 65,00
Cortada regularizada (m ²)	R\$ 80,00

A partir dos valores de comercialização da rocha na coloração natural e o custo de tingimento, calculado utilizando como base os preços praticados para tingimento da ágata, pode ser percebido que este representaria significativo impacto sobre os valores de venda dos materiais, provavelmente inviabilizando a sua comercialização e, conseqüentemente, o investimento por parte da indústria de beneficiamento de basalto no sistema proposto.

4.6.3 Análises de investimento complementares

Análises complementares, com alterações no preço de processamento de R\$ 3,50/kg proposto inicialmente, foram realizadas para verificação de padrões alternativos de valores passíveis de utilização para a viabilização do investimento por ambas as cadeias, ágata e basalto.

Mantidas inalteradas todas as demais variáveis – volume processado por batelada, investimento mensal para a aquisição de utensílios e custos com insumos e transporte – foram efetuadas simulações utilizando valores hipotéticos para a verificação da manutenção da condição de investimento por parte da indústria da ágata e viabilização deste pela indústria do basalto.

Preços de R\$ 0,20, R\$ 0,53 e R\$ 1,00 por kg de rocha foram utilizados para simulação, sendo os resultados, por conjunto de tambor e bombona plástica, para ambas as cadeias – ágata e basalto – apresentados na Tabela 15.

Cabe salientar que assim como nas análises de investimento iniciais, nestas, por serem considerados processos complementares, não foram considerados os custos para a queima das peças após o seu tingimento.

Tabela 15 – Compilação de resultados das simulações realizadas com valores diferenciados para o preço/kg de beneficiamento “basalto carijó” por conjunto de tambor e bombona plástica

Preço de beneficiamento sugerido (por kg)	R\$ 0,20	R\$ 0,53	R\$ 1,00
Resultados para a indústria da ágata			
Margem de contribuição por batelada	-R\$ 0,30	R\$ 4,16	R\$ 10,50
Margem de contribuição por mês (22 dias úteis)	-R\$ 26,40	R\$ 365,64	R\$ 924,00
Resultado ao mês (Margem de Contribuição deduzido o Investimento)	-R\$ 386,40	R\$ 5,64	R\$ 564,00
TIR ao mês	-107,33%	1,57%	156,67%
Resultados para a indústria do basalto			
Custo de beneficiamento e transporte por m ² (3 cm)	R\$ 24,30	R\$ 54,00	R\$ 96,30
Impacto sobre o preço do m ² de Retalho (3 cm)	97,20%	216,00%	385,20%
Impacto sobre o preço do m ² de Cortada irregular (3 cm)	37,38%	83,08%	148,15%
Impacto sobre o preço do m ² de Cortada regular (3 cm)	30,38%	67,50%	120,38%
Custo de beneficiamento e transporte por m ² (4 cm)	R\$ 32,40	R\$ 72,00	R\$ 128,40
Impacto sobre o preço do m ² de Retalho (4 cm)	129,60%	288,00%	513,60%
Impacto sobre o preço do m ² de Cortada irregular (4 cm)	49,85%	110,77%	197,54%
Impacto sobre o preço do m ² de Cortada regular (4 cm)	40,50%	90,00%	160,50%

Ao serem analisadas as informações constantes na tabela, pode-se perceber que o valor de R\$ 0,20/kg, apesar de representar impacto de 30,38%, 37,38% e 40,5% - presumivelmente capaz de ser absorvido pelo mercado de produtos diferenciados - sobre os preços produtos “Cortada irregular” e “Cortada regular” com 3 cm de espessura e “Cortada regular” com 4 cm de espessura, respectivamente, não cobre os custos produtivos junto a indústria da ágata.

Pode ser observado que, mantidas as demais variáveis envolvidas, o preço de R\$ 0,53/kg representa o valor mínimo a ser cobrado pela indústria da ágata para a recuperação do investimento em utensílios e os dispêndios em madeira para aquecimento nos processos, gerando resultado de R\$ 5,64, ou 1,57% sobre o valor investido. Por outro lado, tal custo para a indústria do basalto provoca impacto mínimo – considerando o produto “Cortada regular” – de 67,5% sobre os preços de venda junto a indústria do basalto.

Já os resultados obtidos para a indústria da ágata na simulação utilizando preço de R\$ 1,00/kg apresentam rentabilidade significativamente alta (156,67%) em relação às obtidas junto às aplicações tradicionais em aplicações financeiras junto à instituições bancárias. Considerando o impacto sobre os preços de vendas dos produtos pela indústria do basalto, o preço de R\$ 1,00/kg representa incremento mínimo de 120,38% -

considerando o produto “Cortada regular” com 3 cm de espessura - nestes, sendo presumida a não absorção deste pelo mercado consumidor.

Mais uma vez cabe salientar que não foram, para efeito dos cálculos realizados, considerados custos relativos à contratação de mão de obra extra, investimentos em infraestrutura e a tributação incidente.

4.7 Análise sob a perspectiva do ecodesign

As análises efetuadas apontaram a viabilidade técnica de serem (re)utilizados os efluentes provenientes do processo inorgânico vermelho da ágata para tingimento do basalto. Sem a necessidade de maior consumo energético em relação aos processos já utilizados e aumentando a vida útil do pigmentante, o processo possibilita o descarte, para tratamento, de efluentes com menores concentrações, o que também poderá gerar menores consumos.

Pode-se observar que as vantagens provenientes do reaproveitamento do efluente dos processos da ágata para tingimento do basalto são diversas e que sinergicamente poderão representar, sob a perspectiva do ecodesign, ganhos em termos de sustentabilidade.

5. CONCLUSÕES

Os processos de tingimento do “Basalto Carijó”, utilizando efluentes dos processos de tingimento inorgânico vermelho de ágata, são comprovadamente possíveis e poderão gerar ganhos em sustentabilidade e financeiros.

Com maiores ou menores períodos de exposição da rocha ao fluído de tingimento e a posterior submissão, ou não, desta à queima, podem ser obtidas alterações na coloração das superfícies das amostras. As alterações possíveis de serem obtidas nas faces das rochas podem variar de leves tonalidades amarelo-alaranjadas a marrom-acinzentadas, passando por diversas variações de tonalidades laranja-avermelhadas.

Os resultados qualitativa e quantitativamente analisados permitiram verificar a influência das diversas variáveis utilizadas, sendo estas, conforme exposto durante o trabalho, eliminadas, alteradas ou modificadas em seu uso, com o objetivo de serem possíveis as alterações nos padrões de cor no “Basalto Carijó com o mínimo impacto ambiental e a agregação de valor para as duas cadeia produtivas envolvidas.

Conforme apresentado durante o estudo, apesar do possível potencial de geração de resultados sem a volatilização do efluente foi observada a baixa (ou inexistente) influência da utilização de sistemas com emprego de vácuo e/ou pressão nos processos. Considerando a necessidades de exposição das peças ao efluente por longos períodos e de investimentos em equipamentos ainda não disponíveis na indústria de beneficiamento de ágata, não é sugerida a utilização destes.

Os processos por simples imersão também não são sugeridos devido aos longos períodos de exposição da rocha ao efluente para o seu tingimento.

Melhores resultados, quando comparados aos obtidos pela simples imersão das amostras ou utilizando cargas de vácuo e/ou pressão, foram os obtidos utilizando aquecimento de 40°C, sem pressão ou vácuo, durante os processos de tingimento. Apesar destes, ainda períodos de contato entre a rocha e o efluente significativos foram necessários para que alterações representativas fossem verificadas nas superfícies das amostras.

Considerando a utilização industrial dos processos, o baixo investimento em utensílios e a agilidade na obtenção de diferentes colorações das superfícies das

amostras, os processos realizados sob temperatura de 90°C, sem o emprego de vácuo ou pressão, foram os que apresentaram os melhores resultados.

Ainda em termos de alterações de coloração e possibilidade de utilização a nível industrial, os processos de queima das peças após o contato com o efluente, igualmente apresentaram resultados significativos. Após a queima, de forma geral, nas faces externas foram observados padrões de cor marrom-acinzentadas e minimização da característica carijó nas amostras processadas durante o estudo, conferindo aos materiais características distintas das verificadas nas peças na coloração natural e após o contato com o pigmentante.

Já nas faces geradas a partir do corte das peças tingidas, também foram observadas alterações de cor havendo leve acentuação de tons avermelhados. Três alternativas, não comprovadas, passíveis de estudos posteriores, puderam ser identificadas: (I) oxidação de Fe proveniente do efluente, não identificado visualmente após o corte (II) oxidação de Fe proveniente da liga metálica da serra utilizada, depositada durante o processo de corte; e a de menor probabilidade, devido às diferenças nos resultados, (III) oxidação do Fe naturalmente encontrado nas rochas.

Em termos de uso dos materiais tingidos, não é recomendada a utilização destes em superfícies sujeitas a processos de abrasão. Dada a não identificação de coloração abaixo das superfícies das amostras, o desgaste provocado por processos abrasivos (e.g. circulação de pessoas sobre a superfície/piso) poderá retirar a coloração superficial das rochas, havendo o retorno da exposição da coloração natural destas.

A análise dos processos realizados na segunda fase a partir da perspectiva do ecodesign, apesar da possibilidade de maior volatilização do efluente provocada pelo emprego de maior temperatura durante os processos, entende-se que a agilização na obtenção de colorações mais intensas permite que sejam processados maiores volumes de rochas por período e conseqüente maior consumo do colorante e menor tempo de exposição do efluente ao calor. Ainda sob esta perspectiva, o aumento da vida útil do colorante, pela sua (re)utilização, permitem significativos ganhos em termos de sustentabilidade do sistema.

Tecnicamente, conclusões complementares também foram possíveis. A partir dos ensaios realizados, foi observado que a rugosidade das peças e a concentração dos efluentes, influenciam diretamente nos resultados, havendo maiores alterações de cor

em faces com maior rugosidade/área e com efluentes de maior concentração por tempo de exposição.

Considerando os resultados obtidos nas análises de investimento, pode-se verificar que, de acordo com os padrões produtivos e de preços utilizados, devido ao significativo peso da rocha, pequenas variações na sua espessura e nos preços cobrados para o seu tingimento poderão gerar significativas diferenças no impacto sobre o preço do m² tingido em relação ao do de peças na coloração natural, podendo inviabilizar a utilização dos processos para ambas as cadeias – ágata e basalto. Análises complementares, a partir de padrões diferenciados, poderão gerar resultados que apresentem melhores condições para o investimento no sistema.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho em momento algum buscou exaurir as possibilidades técnicas ou determinar os padrões financeiros para o desenvolvimento dos sistemas e processos de agregação de valor às cadeias produtivas da ágata e do basalto, mas sim dar início a uma aproximação para trabalho conjunto que possibilite a maximização de ganhos para ambas.

Novos estudos, provavelmente, poderão levar ao desenvolvimento de novos recursos e técnicas que permitam a impregnação do efluente e pigmentação sob a superfície da rocha, fator importante para que sejam ampliadas as possibilidades de uso dos materiais. Estes poderão também determinar novas proporções entre efluente e rocha para que sejam possíveis melhoras na produtividade e, conseqüentemente, dos custos produtivos, sendo proporcionada, à indústria de beneficiamento de basalto, condição de investimento nos processos.

Espera-se, assim como com outros tantos trabalhos, que o desenvolvimento deste estudo tenha contribuído para o desenvolvimento e utilização de processos de (re)uso do efluente inorgânico vermelho proveniente dos processos de tingimento da ágata junto à indústria.

BIBLIOGRAFIA

- ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Consumo interno, perfil de utilização e estrutura de comercialização das rochas ornamentais e de revestimento no Brasil.** 2004. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br> Acesso em: 06/12/2012.
- _____. **Balanço Sucinto das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento em 2011.** – Informe 01/2012. Disponível em: http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/10672/Informe_01_2012.pdf Acesso em 06/12/2012a
- _____. **Informe 11/2012 – Balanço da produção mundial e do comércio internacional de rochas ornamentais em 2011.** Disponível em: www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/11364/Informe_11_2012.pdf Acesso em 06/12/2012b
- _____. **Feira de Vitória 2012 - Informações setoriais de interesse para o seminário da APEX/ABIROCHAS.** Disponível em: <http://www.marmorecia.com.br/Informa%C3%A7%C3%B5es%20para%20APEX%20Feira%20de%20Vitoria.htm> Acesso em 06/12/2012c
- BARP, D. R. A., FERREIRA, N. F., NEIS, P. D. **Contribuição ao estudo do processo de corte de ágata por jato d'água em formas complexas.** In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J.T. (Org.) *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração.* Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 2010. p.165-180.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos** 2ed. São Paulo: Edgar Bücher, 2000
- BORGES, D. L. G., CURTIUS, A. J., WELZ, B., HEITMANN, U. **Fundamentos de espectrometria de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua.** *Revista Analytica.* São Paulo, v.18, p.58-67, Ago/Set, 2005.
- BRUM, Irineu A.S de, SILVA, Adriano A. **Sistemas de tingimento de gemas.** In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J.T. (Org.) *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração.* Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 2010. p.205-217.
- CÂNDIDO, L., KINDLEIN JUNIOR, W., DEMORI, R., CARLI, L., MAULER, R., OLIVEIRA, R. **The recycling cycle of materials as a design project tool.** *Journal of Cleaner Production*, Volume 19, Issue 13, September 2011, Pages 1438-1445.
- CARISSIMI, E.; SCHNEIDER, I. A. H. **Tratamento e aproveitamento continuado da água na indústria de pedras preciosas de Soledade, RS.** In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J.T. (Org.) *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração.* Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 2010. p.181-192.
- CERBASI, G, PASCHOARELLI, R. **Finanças para empreendedores e profissionais não financeiros.** São Paulo: Saraiva, 2007.

- CIDADE, M. K. **Caracterização e Padronização do Processo de Gravação a Laser em Ágata Aplicado ao Design de Joias**. 2012, 172fls. Dissertação (Mestrado em Design), Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- CIDADE, M. K.; DUARTE, L. C.; KINDLEIN JUNIOR, W. **Caracterização da Técnica de Gravação a Laser em Ágata para Aplicação em Design de Produtos**. In: VI Congresso Internacional de Materiales, 2011, Bogotá D.C. Colômbia, 2011.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio-Ambiente-CONAMA. Resolução 430, de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16/05/2011, p. 89.
- DEDAVID, B. A., GOMES, C. I., MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: Aplicações e preparação de amostras – Materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
- DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICAS E ESTUDOS ECONÔMICOS – DIEESE. **Estudo setorial da construção – 2011**. Nº 56 – abril 2011. Disponível em: www.dieese.org.br/esp/estPesq56ConstrucaoCivil.pdf. Acesso em: 06/12/2012.
- DUARTE, L. da C., KINDLEIN JUNIOR, W., SILVA, F. P. da, STÜRMER, P. G. dos S., TESSMANN, C. S., SILVEIRA, F. L. da, CIDADE, M. K., GOMES, L. E. S. **Técnicas inovadoras e materiais naturais em joalheria no Laboratório de Design e Seleção de Materiais**. In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J.T. (Org.) *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração*. Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 2010. p.148-164.
- EATON, A. D., CLESCERI, L. S., RICE, E. W., GREENBERG, A. E. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21th ed., American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation editors. American Public Health Association, Inc., New York, 2005.
- FENSTERSEIFER, Henrique C. **A ametista e a ágata no Vale do Taquari, RS – um contexto histórico e o desenvolvimento do Programa de Rede de Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral**. In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J.T. (Org.) *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração*. Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 2010. p.285-301.
- FRIZZON, G. C., **Caracterização petrográfica e tecnológica dos riodacitos da raiz de um domo na região de Frei Caneca, São Marcos, RS**. Porto Alegre: UFRGS, 2010. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- FRONDEL, C. **The system of mineralogy. Silica minerals**, Volume III, 7 ed. New York and London: John Wiley and Sons Inc., 1962. 334 p.
- GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J.E., LAMB, R. **Decisões de investimento da empresa**. São Paulo: Atlas, 1999.
- GREVE, G., ETCHEPARE, H. D., DUARTE, L. da C. KINDLEIN JUNIOR, W. **Ensaio para utilização de tecnologia de fresamento CNC no beneficiamento de**

ágata. In: 2º Seminário de Gemologia & Design de Gemas e Joias, 2011, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais, 2011. 1 CD

HARTMANN, L.A. **Minerais estratégicos do sul do Brasil: geologia de geodos de ametista e ágata.** In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J.T. (Org.) *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração.* Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 2010. p.30-39.

HIERARQUIA SÓCIO-ECONÔMICA. Nova Prata: Câmara de Indústria e Comércio – CIC, 2010.

HOLLOWAY, L., CLEGG, D., TRANTER, I., COCKERHAM, G. **Incorporating environmental principles into the design process.** *Materials & Design, Volume 15, Issue 5, 1994, Pages 259-267.*

IBGM - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEMAS E METAIS PRECIOSOS. **Políticas e ações para a Cadeia Produtiva de Gemas e Joias.** Brasília: Brisa, 2005.

_____. **Manual técnico de gemas.** 4ª ed.rev.atual. Brasília: IBGM/DNPM, 2009. 215 p.

_____. **Exportação Brasileira do Setor de Gemas e Jóias - 2011.** Disponível em http://www.ibgm.com.br/info_estatisticas_avancada.php?id=59&secao=Exportação, Acesso em 12/09/2012a.

_____. **Características da cadeia produtiva.** Disponível em: http://www.ibgm.com.br/info_cadeia_produtiva.php#1, Acesso em 28/08/2012b.

KINDLEIN JUNIOR, W., GUANABARA, A.S. **A Importância do Binômio Design e Engenharia como Catalizador de Inovação.** In: *VII P&D Design – 2006* Curitiba.

MALISKA, A. M. **Microscopia eletrônica de Varredura.** Florianópolis: LCMAI Laboratório de Caracterização microestrutural e Análise de Imagens – UFSC, [s.d.]. 97 p.

MANZINI, E., VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis.** 1 ed. 2 reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 367 p.

MENDES, A. de S., ALVES, M. V. da S. **A degradação da madeira e a sua preservação.** Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal/Departamento de Pesquisa – Laboratório de Produtos Florestais. Brasília, 1988.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Relatório Técnico 33 – Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento 2009.** Disponível em http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P23_RT33_Perfil_de_Rochas_Ornamentais_e_de_Revestimento.pdf, Acesso em 18/08/2012.

MOTOKI, A., VARGAS, T., PEIXOTO, J.L.N. **Análise quantitativa das cores de feldspato alcalino, nefelina e sodalita em rochas ornamentais.** *Mineração Metarurgia*, v. 554, n. 6, p. 14-30, 2000.

MOTTA, R.R.; CALÔBA, G.M. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais.** São Paulo: Atlas, 2002.

- Revista do Basalto.** Sindicato da Indústria da Extração de Pedreiras de Nova Prata e Região, 2000.
- RIGBY, S. P., FLETCHER, R. S., RILEY, S. N. **Characterisation of porous solids using integrated nitrogen sorption and mercury porosimetry.** Chemical Engineering Science, Volume 59, p.41-51. 2004.
- ROISENBERG, A.; VILASBÔAS, F. da S. **Impacto ambiental do beneficiamento de ágatas na região de Soledade, RS.** In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J.T. (Org.) *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração.* Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 2010. p.193-204.
- SCHERER, F.O., CARLOMAGNO, M.S. **Gestão da inovação na prática: como aplicar conceitos e ferramentas para alavancar a inovação.** São Paulo: Atlas, 2009.
- SILVA, J. T. da, HARTMANN, L. A., HAUSCHILD, C. A. **O Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul no ambiente de um arranjo produtivo local.** In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J.T. (Org.) *Tecnologias para o setor de gemas, joias e mineração.* Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 2010. p.17-29.
- SILVA, R. de A. **Avaliação da perda de coloração artificial de ágatas.** 2006. 98 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006.
- SILVEIRA, F. L. da **Uso de usinagem por jato de água, usinagem por controle numérico computadorizado e corte a laser no design de superfícies tácteis a partir de padrões modulares encaixáveis em ágata e cedro.** 2006. 152 f. Dissertação de Mestrado em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006.
- SOARES, Beatriz M. C.; SARON, Elizabete S.. **Microanálise Elementar de Materiais: Aplicações do Sistema MEV-EDX.** In: Boletim de Tecnologia de Desenvolvimento de Embalagens, Instituto Brasileiro de Tecnologia de Alimentos – ITAL, São Paulo, v 22, n 1, janeiro/fevereiro/março 2010.
- STRIEDER, A. J., HEEMANN, R. **Structural Constrains on Paraná Basalt Volcanism and their Implications on Agate Geode Mineralization (Salto do Jacuí, RS, Brazil).** Pesquisas em Geociências. Volume 33 (1), p.37-50, 2006.
- TESSMANN, C. S. **Importância do binômio design e engenharia no beneficiamento de rejeito mineral de opala e ágata na produção de camafeus por usinagem CNC.** Porto Alegre: UFRGS, 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- TIDD, J., BESSANT, J., PAVIT, K. **Gestão da Inovação.** 3 ed. Porto Alegre: Bookmann, 2008. 600 p.
- TOSCAN, L., KAUTZMANN, R. M. **O rejeito da mineração de basalto no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul: diagnóstico do problema.** Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 60, n. 4, Dec. 2007. p. 657-662.
- VAGHETTI, J. C. P. **Utilização de biossorventes para remediação de efluentes aquosos contaminados com íons metálicos.** 2009. 84f. Tese (Doutorado em

Química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VIERO, A.C., **Geodiversidade: adequabilidades/potencialidades e limitações frente ao uso e ocupação.** In: VIERO, A.C., SILVA, D.R.A. da (Org.) Geodiversidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2010. p. 143-212.

VISSER, W. **Design: one, but in different forms.** Design Studies, Volume 30, Issue 3, May 2009, Pages 187-223.

WILDNER, W. **Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná – Conceitos básicos e divisão faciológica.** In: REUNIÃO ABERTA DA COMISSÃO BRASILEIRA DE ESTRATIGRAFIA. Porto Alegre. Anais... SBG, 2004. p. 62-77

WILDNER, W., RAMGRAB, G. E., LOPES, R. da C., IGLESIAS, C. M. da F. **Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul.** Escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2008. Programa Geologia do Brasil. Mapas geológicos estaduais.

ZUIN, V. G., IORIATTI, M. C. S., MATHEUS, C. E. **O emprego de parâmetros físicos e químicos para a avaliação da qualidade de águas naturais: uma proposta para a educação química e ambiental na perspectiva CTSA.** Revista Química Nova na Escola Vol. 31, Nº1, Fevereiro 2009. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_1/02-QS-5507.pdf Acesso em: 24/09/2012.