

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS,
METALÚRGICA E MATERIAIS (PPGE3M)**

CRISTIANE ERICKSSON

**ESTUDO DE CASO, REPLICAÇÃO, PADRONIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE
TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE GEMAS
Processos de tingimento de ágata do Rio Grande do Sul**

Porto Alegre

2017

CRISTIANE ERICKSSON

**ESTUDO DE CASO, REPLICAÇÃO, PADRONIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE
TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE GEMAS**

Processos de tingimento de ágata do Rio Grande do Sul

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, modalidade Acadêmica.

Orientador: Prof. Dr. Irineu A. Schadach de Brum

Porto Alegre

2017

Ficha Cartográfica

CRISTIANE ERICKSSON

**ESTUDO DE CASO, REPLICAÇÃO, PADRONIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE
TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE GEMAS**

Processos de tingimento de ágata do Rio Grande do Sul

Esta Dissertação foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, área de concentração Tecnologia Mineral, Ambiental e Metalurgia Extrativa e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, da Universidade de Federal do Rio Grande do Sul.

Irineu A. Schadach de Brum

Nome do Coordenador

Aprovado em: ___/___/2017.

BANCA EXAMINADORA

Ivo André Homrich Schneider – UFGRS _____

Juliano Tonezer da Silva – UPF _____

Rubens Muller Kautzmann – Universidade La Salle _____

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo Irineu A. S. de Brum, por ter me acompanhado neste desafio, sempre presente e disposto a escutar, doando sua generosidade, otimismo e paciência, em especial nos momentos de muita dificuldade.

Em especial, ao amigo que muito admiro, Juliano T. da Silva, que mediou meu retorno ao mundo acadêmico, fazendo parte do presente trabalho na fase mais difícil, a inicial, sempre disposto ao auxílio incondicional na busca pelo desenvolvimento do conhecimento científico.

Aos colegas do LAPROM, Pedro, Camila, Diego e Eduardo, que de forma direta ou indireta colaboraram para as fases de replicação e ensaios preliminares do trabalho, sendo de muita ajuda e importância nas etapas iniciais, além de suporte mútuo ao longo da pesquisa.

Aos colegas e amigos do Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul, Fernanda e Maciel, sempre receptivos e cordiais, os quais receberam a pesquisa e acolheram o desenvolvimento dos trabalhos de forma generosa e gentil.

Ao LAPROM e Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul pelo cedência de espaço, colaboração em diversos momentos durante a longa jornada de pesquisa e realização deste trabalho.

Ao CNPq pelo subsídio financeiro, essencial para desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus familiares e filhos, ao apoiar e respeitar a escolha pela jornada acadêmica, em especial ao meu companheiro Angelo, pela compreensão e amparo pleno durante minha ausência.

Ao meu irmão Junior, por me auxiliar e dar suporte técnico, além da imensa paciência e boa vontade em ajudar.

Há verdadeiramente duas coisas diferentes: saber e crer que se sabe. A ciência consiste em saber; em crer que se sabe reside a ignorância.

Hipócrates

RESUMO

A ágata do sul do Brasil apresenta colorações pouco interessantes ou salientes, sendo predominante os tons acinzentados. Tais qualidades foram fatores determinantes para o início do processo de tingimento de ágata do Rio Grande do Sul, no século XVIII. Atualmente, o segmento mineral, apresenta carências relacionadas a tecnologias e processos de produção, além de infraestruturas inadequadas, resultando em prejuízo para as comunidades produtoras. Nesse cenário, a pesquisa se estrutura para avaliar técnicas operacionais viáveis para o setor, objetivando a melhoria do valor agregado às gemas beneficiadas e qualidade na cor. Para o desenvolvimento do tratamento de ágatas, o sistema foi replicado, padronizado e otimizado no Laboratório LAPROM da UFRGS e Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. A amostragem foi classificada em quatro padrões e analisada em espectrofotômetro em três etapas distintas. Ao término, se tem a comparação dos resultados do tingimento otimizado e o industrial, com as curvas de distribuição espectral medidas antes e após o tratamento termoquímico da ágata. Com o sistema otimizado, foi possível reduzir custos operacionais, tempo de energia envolvida no sistema, além de manter e elevar a qualidade da cor, sendo possível estabelecer relação com aspectos quanti e qualitativos dos reagentes utilizados.

Palavras-chave: Ágatas. Tingimento. Beneficiamento mineral.

ABSTRACT

The agate of the south of Brazil presents not much interesting or salient colorations, being predominant the grayish tones. These qualities were determining factors for the beginning of the agate dyeing process in Rio Grande do Sul, in the 18th century. Currently, the mineral segment presents deficiencies related to technologies and production processes, as well as inadequate infrastructures, resulting in loss to the producing communities. In this scenario, the research is structured to evaluate viable operational techniques for the sector, aiming to improve the value added to the gems benefited and color quality. For the development of the agate treatment, the system was replicated, standardized and optimized in the LAPROM Laboratory of the UFRGS and Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. The sampling was classified in four standards and spectrophotometer analyzed in three different phases. In conclusion, is compared the optimized and industrialized dyeing results, with the spectral distribution curves measured before and after the thermochemical treatment of the agate. With the optimized system, it was possible to reduce operating costs, energy time involved in the system, as well as keep and elevate color quality and being possible to establish relationship with quantitative and qualitative aspects of the reagents used.

keywords: Agates. Dyeing. Mineral processing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Principais características mineralógicas da ágata do Rio Grande do Sul.	53
Figura 2. Ágata com padrão homogêneo, categoria massa.	54
Figura 3. Ágata com padrão bandada, categoria bandada.	55
Figura 4. Ágata da categoria vidrada.	56
Figura 5. Ágata da categoria sal.	57
Figura 6. Ilustração do espectro visível pelo olho humano (luz), com identificação dos diferentes comprimentos de onda.	59
Figura 7. Espectro visível, a partir da decomposição da luz branca.	62
Figura 8. Decomposição do espectro da luz azul (a), verde (b), vermelho (c), ciano (d), amarelo (e) e magenta (f).	62
Figura 9. Intensidades de radiação normalizadas para os iluminantes D65, A e F1.	63
Figura 10. Espectro de reflectâncias de determinados objetos opacos e coloridos, na faixa do comprimento de onda do visível.	65
Figura 11. Curva de reflectância de um objeto branco real.	66
Figura 12. Curva de reflectância de um objeto preto real.	67
Figura 13. Curva de reflectância de um objeto cinza ideal.	67
Figura 14. Representação da mistura aditiva de cores (a). Mistura subtrativa de cores (b). ...	68
Figura 15. Diagrama de cromaticidade.	69
Figura 16. Espaço CIELAB.	69
Figura 17. Variações de a^* e b^* , representando a evolução de cores (a). Variação de luminosidade, representado por L^* (b).	70
Figura 18. Sistema subtrativo obtida quando os espectros azul e vermelho são filtrados (a). Curvas de reflectância para o amarelo, ciano e verde (b).	72
Figura 19. Sistema subtrativo obtida quando os espectros azul e verde são filtrados (a). Curvas de reflectância para o amarelo, magenta e vermelho (b).	72

Figura 20. Sistema subtrativo obtida quando os espectros verde e vermelho são filtrados (a). Curvas de reflectância para o ciano, magenta e azul (b).	73
Figura 21. Espectro de cores, refletância em função do comprimento de onda para as cores roxa, azul, amarelo, bege, vermelho e verde.	73
Figura 22. Amostra de ágata, com identificação em laser no ponto a ser avaliado. 13M1 – Amostras 13, da categoria massa, ponto avaliado 1. 13M2 – Amostra 13, categoria massa, ponto avaliado 2.....	76
Figura 23. Amostra de ágata (a). Máscara para a amostra (b). Máscara sobre a amostra (c)..	77
Figura 24. Classificação em grupos de ágatas, com 4 amostras diferentes para recebimento de coloração artificial. Cada conjunto contém uma amostra de água da categoria vidrada, bandada, de sal e de massa.....	78
Figura 25. Soluções tingidoras para as cores verde, violeta e rosa, da esquerda para a direita.	89
Figura 26. Tanque de tingimento contendo gemas imersas nas soluções tingidoras para aquecimento em banho maria.	90
Figura 27. Secagem, à sombra, das gemas após o processo de tingimento e lavagem.	91
Figura 28. Etapa de imersão de ágatas em solução de açúcar nas concentrações I, II e III, durante o processo de otimização da coloração artificial preta.	93
Figura 29. Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial preta em ágatas.	95
Figura 30. Vista da capela de exaustão, contendo as três soluções tingidoras para a cor vermelha.	97
Figura 31. Lotes de ágatas submetidos ao tingimento otimizado em solução tingidora para cor vermelha, nas concentrações 1, 2 e 3, respectivamente, da esquerda para a direita.....	98
Figura 32. Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial vermelha em ágatas.	99
Figura 33. Soluções de ferricianeto de potássio, em três concentrações diferentes.	100
Figura 34. Ágatas imersas em $K_3Fe(CN)_{6(aq)}$ nas concentrações 1, 2 e 3, da esquerda para a direita.	101

Figura 35. Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial azul em ágatas.	103
Figura 36. Vista geral dos lotes de ágatas submetidos ao tingimento otimizado em solução aquosa para obtenção da cor verde, nas concentrações 1, 2 e 3, da esquerda para a direita. .	105
Figura 37. Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial verde em ágatas.	106
Figura 38. Lotes de ágata submetidos ao tingimento otimizado em solução alcoólica de Rodamina B, para as concentrações 1, 2 e 3, para obtenção da tonalidade rosa.	108
Figura 39. Fluxograma do tingimento otimizado para obtenção da coloração rosa em ágata.	109
Figura 40. Vista dos lotes de ágatas submetidos ao tingimento otimizado em solução alcoólica de corante verde brilhante, para as concentrações 1, 2 e 3.	110
Figura 41. Fluxograma do tingimento otimizado para obtenção da coloração verde com corante orgânico.	111
Figura 42. Vista dos lotes de ágata submetidos ao tingimento otimizado em roxo, a partir do corante cristal violeta, para as concentrações 1, 2 e 3.	113
Figura 43. Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial violeta em ágata.	114
Figura 44. Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento preto, para a concentração 1.	122
Figura 45. Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 1.	122
Figura 46. Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 1.	122

- Figura 47.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento, para a concentração 2..... 123
- Figura 48.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 2. 123
- Figura 49.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 2. 123
- Figura 50.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento, para a concentração 3..... 124
- Figura 51.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 3. 124
- Figura 52.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 3. 124
- Figura 53.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento convencional em preto. 125
- Figura 54.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial convencional em preto..... 125
- Figura 55.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2),

da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial convencional em preto..... 125

Figura 56. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento convencional e otimização do sistema de tingimento em preto para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas antes do tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa. 126

Figura 57. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento convencional e otimização do sistema de tingimento em preto para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas após o tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa. 127

Figura 58. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento convencional e otimização do sistema de tingimento em preto para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas após polimento das peças. M VID []

1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa. 128

Figura 59. Amostras de lâminas de ágata com numeração 9, da categoria “vidrada” (9V1 e 9V2), seguida da categoria “bandada” (9B1 e 9B2), “sal” (9S1e 9S2) e “massa” (9M1 e 9M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento, para a concentração 1..... 131

Figura 60. Amostras de lâminas de ágata com numeração 9, da categoria “vidrada” (9V1 e 9V2), seguida da categoria “bandada” (9B1 e 9B2), “sal” (9S1e 9S2) e “massa” (9M1 e 9M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 1. 131

Figura 61. Amostras de lâminas de ágata com numeração 9, da categoria “vidrada” (9V1 e 9V2), seguida da categoria “bandada” (9B1 e 9B2), “sal” (9S1e 9S2) e “massa” (9M1 e 9M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 1. 131

Figura 62. Amostras de lâminas de ágata com numeração 10, da categoria “vidrada” (10V1 e 10V2), seguida da categoria “bandada” (10B1 e 10B2), “sal” (10S1e 10S2) e “massa” (10M1 e 10M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento vermelho, para a concentração 2. 132

Figura 63. Amostras de lâminas de ágata com numeração 10, da categoria “vidrada” (10V1 e 10V2), seguida da categoria “bandada” (10B1 e 10B2), “sal” (10S1e 10S2) e “massa” (10M1 e 10M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 2..... 132

Figura 64. Amostras de lâminas de ágata com numeração 10, da categoria “vidrada” (10V1 e 10V2), seguida da categoria “bandada” (10B1 e 10B2), “sal” (10S1e 10S2) e “massa” (10M1

e 10M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 2..... 132

Figura 65. Amostras de lâminas de ágata com numeração 8, da categoria “vidrada” (8V1 e 8V2), seguida da categoria “bandada” (8B1 e 8B2), “sal” (8S1e 8S2) e “massa” (8M1 e 8M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento, para a concentração 3..... 133

Figura 66. Amostras de lâminas de ágata com numeração 8, da categoria “vidrada” (8V1 e 8V2), seguida da categoria “bandada” (8B1 e 8B2), “sal” (8S1e 8S2) e “massa” (8M1 e 8M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 3. 133

Figura 67. Amostras de lâminas de ágata com numeração 8, da categoria “vidrada” (8V1 e 8V2), seguida da categoria “bandada” (8B1 e 8B2), “sal” (8S1e 8S2) e “massa” (8M1 e 8M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 3. 133

Figura 68. Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em vermelho. 134

Figura 69. Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho em sistema comercial local..... 134

Figura 70. Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho em sistema comercial local..... 134

Figura 71. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em vermelho para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas anterior ao tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à

concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa. 135

Figura 72. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em vermelho para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas após o tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa. 136

Figura 73. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em vermelho para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas após o polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T,

média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa. 137

Figura 74. Amostras de lâminas de ágata com numeração 11, da categoria “vidrada” (11V1 e 11V2), seguida da categoria “bandada” (11B1 e 11B2), “sal” (11S1e 11S2) e “massa” (11M1 e 11M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em azul, para a concentração 1. 139

Figura 75. Amostras de lâminas de ágata com numeração 11, da categoria “vidrada” (11V1 e 11V2), seguida da categoria “bandada” (11B1 e 11B2), “sal” (11S1e 11S2) e “massa” (11M1 e 11M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 1. 139

Figura 76. Amostras de lâminas de ágata com numeração 11, da categoria “vidrada” (11V1 e 11V2), seguida da categoria “bandada” (11B1 e 11B2), “sal” (11S1e 11S2) e “massa” (11M1 e 11M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 1. 139

Figura 77. Amostras de lâminas de ágata com numeração 12, da categoria “vidrada” (12V1 e 12V2), seguida da categoria “bandada” (12B1 e 12B2), “sal” (12S1e 12S2) e “massa” (12M1 e 12M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em azul, para a concentração 2. 140

Figura 78. Amostras de lâminas de ágata com numeração 12, da categoria “vidrada” (12V1 e 12V2), seguida da categoria “bandada” (12B1 e 12B2), “sal” (12S1e 12S2) e “massa” (12M1 e 12M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 2. 140

Figura 79. Amostras de lâminas de ágata com numeração 12, da categoria “vidrada” (12V1 e 12V2), seguida da categoria “bandada” (12B1 e 12B2), “sal” (12S1e 12S2) e “massa” (12M1 e 12M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 2. 140

Figura 80. Amostras de lâminas de ágata com numeração 13, da categoria “vidrada” (13V1 e 13V2), seguida da categoria “bandada” (13B1 e 13B2), “sal” (13S1e 13S2) e “massa” (13M1 e 13M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em azul, para a concentração 3. 141

Figura 81. Amostras de lâminas de ágata com numeração 13, da categoria “vidrada” (13V1 e 13V2), seguida da categoria “bandada” (13B1 e 13B2), “sal” (13S1e 13S2) e “massa” (13M1 e 13M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 3.	141
Figura 82. Amostras de lâminas de ágata com numeração 13, da categoria “vidrada” (13V1 e 13V2), seguida da categoria “bandada” (13B1 e 13B2), “sal” (13S1 e 13S2) e “massa” (13M1 e 13M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 3.	141
Figura 83. Amostras de lâminas de ágata com numeração 3, da categoria “vidrada” (3V1 e 3V2), seguida da categoria “bandada” (3B1 e 3B2), “sal” (3S1e 3S2) e “massa” (3M1 e 3M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento azul convencional.	142
Figura 84. Amostras de lâminas de ágata com numeração 3, da categoria “vidrada” (3V1 e 3V2), seguida da categoria “bandada” (3B1 e 3B2), “sal” (3S1e 3S2) e “massa” (3M1 e 3M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em azul convencional.	142
Figura 85. Amostras de lâminas de ágata com numeração 3, da categoria “vidrada” (3V1 e 3V2), seguida da categoria “bandada” (3B1 e 3B2), “sal” (3S1e 3S2) e “massa” (3M1 e 3M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em azul convencional.	142
Figura 86. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em azul para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas anterior ao tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T,	

média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa. 143

Figura 87. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em azul para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas após tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa. 144

Figura 88. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em azul para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas após polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa. 145

Figura 89. Amostras de lâminas de ágata com numeração 14, da categoria “vidrada” (14V1 e 14V2), seguida da categoria “bandada” (14B1 e 14B2), “sal” (14S1e 14S2) e “massa” (14M1

e 14M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em verde, para a concentração 1. 147

Figura 90. Amostras de lâminas de ágata com numeração 14, da categoria “vidrada” (14V1 e 14V2), seguida da categoria “bandada” (14B1 e 14B2), “sal” (14S1e 14S2) e “massa” (14M1 e 14M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 1. 147

Figura 91. Amostras de lâminas de ágata com numeração 14, da categoria “vidrada” (14V1 e 14V2), seguida da categoria “bandada” (14B1 e 14B2), “sal” (14S1e 14S2) e “massa” (14M1 e 14M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 1. 147

Figura 92. Amostras de lâminas de ágata com numeração 15, da categoria “vidrada” (15V1 e 15V2), seguida da categoria “bandada” (15B1 e 15B2), “sal” (15S1e 15S2) e “massa” (15M1 e 15M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em verde, para a concentração 2. 148

Figura 93. Amostras de lâminas de ágata com numeração 15, da categoria “vidrada” (15V1 e 15V2), seguida da categoria “bandada” (15B1 e 15B2), “sal” (15S1e 15S2) e “massa” (15M1 e 15M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 2. 148

Figura 94. Amostras de lâminas de ágata com numeração 15, da categoria “vidrada” (15V1 e 15V2), seguida da categoria “bandada” (15B1 e 15B2), “sal” (15S1e 15S2) e “massa” (15M1 e 15M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 2. 148

Figura 95. Amostras de lâminas de ágata com numeração 16, da categoria “vidrada” (16V1 e 16V2), seguida da categoria “bandada” (16B1 e 16B2), “sal” (16S1e 16S2) e “massa” (16M1 e 16M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em verde, para a concentração 3. 149

Figura 96. Amostras de lâminas de ágata com numeração 16, da categoria “vidrada” (16V1 e 16V2), seguida da categoria “bandada” (16B1 e 16B2), “sal” (16S1e 16S2) e “massa” (16M1 e 16M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 3. 149

Figura 97. Amostras de lâminas de ágata com numeração 16, da categoria “vidrada” (16V1 e 16V2), seguida da categoria “bandada” (16B1 e 16B2), “sal” (16S1 e 16S2) e “massa” (16M1 e 16M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 3. 149

Figura 98. Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em verde..... 150

Figura 99. Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em verde em sistema comercial local. 150

Figura 100. Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em verde em sistema comercial local. 150

Figura 101. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em verde para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas anterior ao tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional. 151

Figura 102. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em verde para as concentrações 1,

2 e 3. Medidas realizadas após o tingimento e anterior ao polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional..... 152

Figura 103. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em verde para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas após o polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional..... 153

Figura 104. Amostras de lâminas de ágata com numeração 17, da categoria “vidrada” (17V1 e 17V2), seguida da categoria “bandada” (17B1 e 17B2), “sal” (17S1e 17S2) e “massa” (17M1 e 17M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em rosa orgânico, para a concentração 1. 155

Figura 105. Amostras de lâminas de ágata com numeração 17, da categoria “vidrada” (17V1 e 17V2), seguida da categoria “bandada” (17B1 e 17B2), “sal” (17S1e 17S2) e “massa” (17M1 e 17M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em rosa orgânico, para a concentração 1.	155
Figura 106. Amostras de lâminas de ágata com numeração 17, da categoria “vidrada” (17V1 e 17V2), seguida da categoria “bandada” (17B1 e 17B2), “sal” (17S1e 17S2) e “massa” (17M1 e 17M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 1, após polimento das peças.....	155
Figura 107. Amostras de lâminas de ágata com numeração 18, da categoria “vidrada” (18V1 e 18V2), seguida da categoria “bandada” (18B1 e 18B2), “sal” (18S1e 18S2) e “massa” (18M1 e 18M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em rosa orgânico, para a concentração 2.	156
Figura 108. Amostras de lâminas de ágata com numeração 18, da categoria “vidrada” (18V1 e 18V2), seguida da categoria “bandada” (18B1 e 18B2), “sal” (18S1e 18S2) e “massa” (18M1 e 18M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em rosa orgânico, para a concentração 2.	156
Figura 109. Amostras de lâminas de ágata com numeração 18, da categoria “vidrada” (18V1 e 18V2), seguida da categoria “bandada” (18B1 e 18B2), “sal” (18S1e 18S2) e “massa” (18M1 e 18M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 2, após polimento das peças.....	156
Figura 110. Amostras de lâminas de ágata com numeração 19, da categoria “vidrada” (19V1 e 19V2), seguida da categoria “bandada” (19B1 e 19B2), “sal” (19S1e 19S2) e “massa” (19M1 e 19M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 3, antes do tingimento.....	157
Figura 111. Amostras de lâminas de ágata com numeração 19, da categoria “vidrada” (19V1 e 19V2), seguida da categoria “bandada” (19B1 e 19B2), “sal” (19S1e 19S2) e “massa” (19M1 e 19M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 3, após tingimento das peças.	157
Figura 112. Amostras de lâminas de ágata com numeração 19, da categoria “vidrada” (19V1 e 19V2), seguida da categoria “bandada” (19B1 e 19B2), “sal” (19S1e 19S2) e “massa” (19M1 e 19M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 3, após polimento das peças.....	157

- Figura 113.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 5, da categoria “vidrada” (5V1 e 5V2), seguida da categoria “bandada” (5B1 e 5B2), “sal” (5S1e 5S2) e “massa” (5M1 e 5M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 4, antes do tingimento..... 158
- Figura 114.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 5, da categoria “vidrada” (5V1 e 5V2), seguida da categoria “bandada” (5B1 e 5B2), “sal” (5S1e 5S2) e “massa” (5M1 e 5M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 4, após tingimento das peças. 158
- Figura 115.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 5, da categoria “vidrada” (5V1 e 5V2), seguida da categoria “bandada” (5B1 e 5B2), “sal” (5S1e 5S2) e “massa” (5M1 e 5M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 4, após polimento das peças. 158
- Figura 116.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 110, da categoria “vidrada” (110V1 e 110V2), seguida da categoria “bandada” (110B1 e 110B2), “sal” (110S1e 110S2) e “massa” (110M1 e 110M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 5, antes do tingimento..... 159
- Figura 117.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 110, da categoria “vidrada” (110V1 e 110V2), seguida da categoria “bandada” (110B1 e 110B2), “sal” (110S1e 110S2) e “massa” (110M1 e 110M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 5, após tingimento das peças..... 159
- Figura 118.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 110, da categoria “vidrada” (110V1 e 110V2), seguida da categoria “bandada” (110B1 e 110B2), “sal” (110S1e 110S2) e “massa” (110M1 e 110M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 5, após polimento das peças..... 160
- Figura 119.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 114, da categoria “vidrada” (114V1 e 114V2), seguida da categoria “bandada” (114B1 e 114B2), “sal” (114S1e 114S2) e “massa” (114M1 e 114M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento convencional em rosa, a base de corante orgânico. 161
- Figura 120** Amostras de lâminas de ágata com numeração 114, da categoria “vidrada” (114V1 e 114V2), seguida da categoria “bandada” (114B1 e 114B2), “sal” (114S1e 114S2) e “massa” (114M1 e 114M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento convencional em rosa, a base de corante orgânico..... 161

Figura 121. Amostras de lâminas de ágata com numeração 114, da categoria “vidrada” (114V1 e 114V2), seguida da categoria “bandada” (114B1 e 114B2), “sal” (114S1e 114S2) e “massa” (114M1 e 114M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento convencional em rosa, a base de corante orgânico, após polimento..... 162

Figura 122. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em rosa, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas anterior tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional..... 163

Figura 123. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em rosa, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal

submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional. 164

Figura 124 Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em rosa, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após polimento das peças tingidas. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T,

média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional..... 165

Figura 125. Amostras de lâminas de ágata com numeração 20, da categoria “vidrada” (20V1 e 20V2), seguida da categoria “bandada” (20B1 e 20B2), “sal” (20S1 e 20S2) e “massa” (20M1 e 20M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 1, antes do tingimento..... 167

Figura 126. Amostras de lâminas de ágata com numeração 20, da categoria “vidrada” (20V1 e 20V2), seguida da categoria “bandada” (20B1 e 20B2), “sal” (20S1 e 20S2) e “massa” (20M1 e 20M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 1, após tingimento das peças..... 167

Figura 127. Amostras de lâminas de ágata com numeração 20, da categoria “vidrada” (20V1 e 20V2), seguida da categoria “bandada” (20B1 e 20B2), “sal” (20S1 e 20S2) e “massa” (20M1 e 20M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 1, após polimento das peças..... 167

Figura 128. Amostras de lâminas de ágata com numeração 21, da categoria “vidrada” (21V1 e 21V2), seguida da categoria “bandada” (21B1 e 21B2), “sal” (21S1 e 21S2) e “massa” (21M1 e 21M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 2, após tingimento das peças..... 168

Figura 129. Amostras de lâminas de ágata com numeração 21, da categoria “vidrada” (21V1 e 21V2), seguida da categoria “bandada” (21B1 e 21B2), “sal” (21S1 e 21S2) e “massa” (21M1 e 21M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 2, após polimento das peças..... 168

Figura 130. Amostras de lâminas de ágata com numeração 22, da categoria “vidrada” (22V1 e 22V2), seguida da categoria “bandada” (22B1 e 22B2), “sal” (22S1 e 22S2) e “massa” (22M1 e 22M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 3, após tingimento das peças..... 169

Figura 131. Amostras de lâminas de ágata com numeração 22, da categoria “vidrada” (22V1 e 22V2), seguida da categoria “bandada” (22B1 e 22B2), “sal” (22S1 e 22S2) e “massa” (22M1 e 22M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 3, após polimento das peças..... 169

- Figura 132.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 7, da categoria “vidrada” (7V1 e 7V2), seguida da categoria “bandada” (7B1 e 7B2), “sal” (7S1e 7S2) e “massa” (7M1 e 7M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 4, antes do tingimento..... 170
- Figura 133.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 7, da categoria “vidrada” (7V1 e 7V2), seguida da categoria “bandada” (7B1 e 7B2), “sal” (7S1e 7S2) e “massa” (7M1 e 7M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 4, após tingimento das peças. 170
- Figura 134.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 7, da categoria “vidrada” (7V1 e 7V2), seguida da categoria “bandada” (7B1 e 7B2), “sal” (7S1e 7S2) e “massa” (7M1 e 7M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 4, após polimento das peças 170
- Figura 135.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 111, da categoria “vidrada” (111V1 e 111V2), seguida da categoria “bandada” (111B1 e 111B2), “sal” (111S1e 111S2) e “massa” (111M1 e 111M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 5, antes do tingimento das peças..... 171
- Figura 136.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 111, da categoria “vidrada” (111V1 e 111V2), seguida da categoria “bandada” (111B1 e 111B2), “sal” (111S1e 111S2) e “massa” (111M1 e 111M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 5, após tingimento das peças..... 171
- Figura 137.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 111, da categoria “vidrada” (111V1 e 111V2), seguida da categoria “bandada” (111B1 e 111B2), “sal” (111S1e 111S2) e “massa” (111M1 e 111M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 5, após polimento das peças..... 171
- Figura 138.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 117, da categoria “vidrada” (117V1 e 117V2), seguida da categoria “bandada” (117B1 e 117B2), “sal” (117S1e 117S2) e “massa” (117M1 e 117M2), da esquerda para a direita. Amostras originais submetidas ao tingimento convencional em verde, a partir de corantes orgânicos comerciais..... 172
- Figura 139.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 117, da categoria “vidrada” (117V1 e 117V2), seguida da categoria “bandada” (117B1 e 117B2), “sal” (117S1e 117S2) e “massa” (117M1 e 117M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento convencional em verde, a partir de corantes orgânicos comerciais. 172

Figura 140. Amostras de lâminas de ágata com numeração 117, da categoria “vidrada” (117V1 e 117V2), seguida da categoria “bandada” (117B1 e 117B2), “sal” (117S1e 117S2) e “massa” (117M1 e 117M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas ao tingimento convencional em verde, a partir de corantes orgânicos comerciais. 172

Figura 141. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em verde, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas anterior tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional. 174

Figura 142. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em verde, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal

submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional. 175

Figura 143. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em verde, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da

categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional. 176

Figura 144. Amostras de lâminas de ágata com numeração 23, da categoria “vidrada” (23V1 e 23V2), seguida da categoria “bandada” (23B1 e 23B2), “sal” (23S1e 23S2) e “massa” (23M1 e 23M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 1. 178

Figura 145. Amostras de lâminas de ágata com numeração 23, da categoria “vidrada” (23V1 e 23V2), seguida da categoria “bandada” (23B1 e 23B2), “sal” (23S1e 23S2) e “massa” (23M1 e 23M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 1. 178

Figura 146. Amostras de lâminas de ágata com numeração 24, da categoria “vidrada” (24V1 e 24V2), seguida da categoria “bandada” (24B1 e 24B2), “sal” (24S1e 24S2) e “massa” (24M1 e 24M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 2. 179

Figura 147. Amostras de lâminas de ágata com numeração 24, da categoria “vidrada” (24V1 e 24V2), seguida da categoria “bandada” (24B1 e 24B2), “sal” (24S1e 24S2) e “massa” (24M1 e 24M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 2. 179

Figura 148. Amostras de lâminas de ágata com numeração 25, da categoria “vidrada” (25V1 e 25V2), seguida da categoria “bandada” (25B1 e 25B2), “sal” (25S1e 25S2) e “massa” (25M1 e 25M2), da esquerda para a direita. Amostras anterior ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 3..... 180

Figura 149. Amostras de lâminas de ágata com numeração 25, da categoria “vidrada” (25V1 e 25V2), seguida da categoria “bandada” (25B1 e 25B2), “sal” (25S1e 25S2) e “massa” (25M1 e 25M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 3. 180

Figura 150. Amostras de lâminas de ágata com numeração 25, da categoria “vidrada” (25V1 e 25V2), seguida da categoria “bandada” (25B1 e 25B2), “sal” (25S1e 25S2) e “massa” (25M1 e 25M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 3. 180

- Figura 151.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 06, da categoria “vidrada” (06V1 e 06V2), seguida da categoria “bandada” (06B1 e 06B2), “sal” (06S1e 06S2) e “massa” (06M1 e 06M2), da esquerda para a direita. Amostras anterior ao tingimento em violeta, a partir de corantes orgânicos comerciais, na concentração 4. 181
- Figura 152.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 06, da categoria “vidrada” (06V1 e 06V2), seguida da categoria “bandada” (06B1 e 06B2), “sal” (06S1e 06S2) e “massa” (06M1 e 06M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em violeta, a partir de corantes orgânicos comerciais, na concentração 4. 181
- Figura 153.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 06, da categoria “vidrada” (06V1 e 06V2), seguida da categoria “bandada” (06B1 e 06B2), “sal” (06S1e 06S2) e “massa” (06M1 e 06M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a partir de corantes orgânicos comerciais, na concentração 4. 181
- Figura 154.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 112, da categoria “vidrada” (112V1 e 112V2), seguida da categoria “bandada” (112B1 e 112B2), “sal” (112S1e 112S2) e “massa” (112M1 e 112M2), da esquerda para a direita. Amostras anterior ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 5. 182
- Figura 155.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 112, da categoria “vidrada” (112V1 e 112V2), seguida da categoria “bandada” (112B1 e 112B2), “sal” (112S1e 112S2) e “massa” (112M1 e 112M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 5. 182
- Figura 156.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 112, da categoria “vidrada” (112V1 e 112V2), seguida da categoria “bandada” (112B1 e 112B2), “sal” (112S1e 112S2) e “massa” (112M1 e 112M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 5. 182
- Figura 157.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 115, da categoria “vidrada” (115V1 e 115V2), seguida da categoria “bandada” (115B1 e 115B2), “sal” (115S1e 115S2) e “massa” (115M1 e 115M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento das peças submetidas ao tingimento convencional em roxo. 183
- Figura 158.** Amostras de lâminas de ágata com numeração 115, da categoria “vidrada” (115V1 e 115V2), seguida da categoria “bandada” (115B1 e 115B2), “sal” (115S1e 115S2) e “massa” (115M1 e 115M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento das peças submetidas à coloração convencional em roxo. 184

Figura 159. Amostras de lâminas de ágata com numeração 115, da categoria “vidrada” (115V1 e 115V2), seguida da categoria “bandada” (115B1 e 115B2), “sal” (115S1e 115S2) e “massa” (115M1 e 115M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das peças submetidas ao tingimento convencional em roxo. 184

Figura 160. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas antes do tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional. 186

Figura 161. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal

submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional. 187

Figura 162. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da

categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional..... 188

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Característica mineralógicas de Ágata.....	55
Tabela 2. Comprimento de onda das cores.....	61
Tabela 3. Informações das amostras submetidas ao tingimento em preto.....	78
Tabela 4. Informações das amostras submetidas ao tingimento em vermelho.....	79
Tabela 5. Informações das amostras submetidas ao tingimento em azul.	80
Tabela 6. Informações das amostras submetidas ao tingimento em verde.	81
Tabela 7. Informações das amostras submetidas ao tingimento em rosa, com corante orgânico.	82
Tabela 8. Informações das amostras submetidas ao tingimento em verde, com corante orgânico.	83
Tabela 9. Informações das amostras submetidas ao tingimento em roxo, com corante orgânico.	84
Tabela 10. Concentração de soluções aquosas para a coloração artificial com anilinas.	89
Tabela 11. Informações do reagente para cor preta.....	92
Tabela 12. Soluções aquosas para a coloração preta.....	93
Tabela 13. Controle de temperatura ambiente, para a imersão de ágata em solução de açúcar.	94
Tabela 14. Controle de temperatura ambiente, para a imersão de ágata em $H_2SO_{4(aq)}$	94
Tabela 15. Informações de reagentes, para coloração vermelha.	96
Tabela 16. Concentrações da solução aquosa de cloreto de ferro III hexaidratado.....	96
Tabela 17. Controle de temperatura ambiente, para a imersão em coloração vermelha	97
Tabela 18. Informações técnicas de reagentes para obtenção da coloração azul.	100
Tabela 19. Variações da concentração da solução de ferricianeto de potássio.	100
Tabela 20. Controle de temperatura ambiente, para a imersão de ágata em $K_3Fe(CN)_{6(aq)}$. .	101
Tabela 21. Controle de temperatura ambiente, para a imersão de ágata em $H_2SO_{4(aq)}$	102

Tabela 22. Informações técnicas dos reagentes químicos usados para obtenção da coloração verde.	104
Tabela 23. Concentrações das soluções aquosas utilizadas para a obtenção da coloração verde.	104
Tabela 24. Controle de temperatura ambiente durante a imersão de ágata para obtenção da cor verde.	105
Tabela 25. Informações de reagentes, para obtenção da coloração rosa.	107
Tabela 26. Concentração das soluções alcoólicas para a coloração rosa.	107
Tabela 27. Controle de temperatura ambiente durante a imersão de ágata em solução de Rodamina B.	108
Tabela 28. Informações de reagentes para obtenção da cor verde, com corante orgânico....	109
Tabela 29. Concentração das soluções alcoólicas para a coloração verde.	110
Tabela 30. Controle de temperatura ambiente durante a imersão de ágata em coloração verde.	111
Tabela 31. Informações de reagentes, para obtenção da coloração violeta.	112
Tabela 32. Concentração das soluções para obtenção da coloração roxa/violeta.....	112
Tabela 33. Controle de temperatura ambiente durante a imersão de ágata em coloração roxa.	113
Tabela 34. Tempo de duração total do tratamento de ágata pelo processo convencional e otimizado a partir de ácidos inorgânicos.	192
Tabela 35. Tempo de duração total do tratamento de ágata pelo processo convencional e otimizado a partir de corantes orgânicos.	192

LISTA DE SIGLAS

RS	Rio Grande do Sul
P. A.	Puro analítico
POP	Procedimento operacional padrão
EPI	Equipamentos de proteção individual
CAS	<i>Chemical American Society</i>
ONU	Número de série estabelecido pela Organização das Nações Unidas
PM	Peso molecular
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

μm	Micrômetros
L	Litro
mL	Mililitros
h	Horas
mol.L^{-1}	Concentração molar
g.mol^{-1}	Peso molar
%	Título em percentagem
s	Sólido
molar	mol.L^{-1}
conc	Concentrado
aq	Aquoso
g	Gramas
kg	Quilogramas
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
M	Concentração molar
l	Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	42
2. OBJETIVOS	45
2.1. OBJETIVO GERAL	45
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	45
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	46
3.1. HISTÓRICO DO TINGIMENTO DE ÁGATA	46
3.2. A ÁGATA NO CONTEXTO DO RIO GRANDE DO SUL.....	50
3.3. MÉTODOS ÓPTICOS NO VISÍVEL E A COR.....	58
3.3.1. Sistemas de avaliação da cor	58
3.3.2. Percepção da cor	59
3.3.3. Cor	60
3.3.4. Luz	62
3.3.5. Curvas de distribuição de reflectância espectral	65
3.3.6. Curvas de distribuição de reflectância espectral e as relações entre luz, pigmentos e filtros coloridos	68
3.4. COR EM UMA ABORDAGEM PARA AS GEMAS	74
4. MATERIAIS E MÉTODOS	75
4.1. PREPARO DAS AMOSTRAS E ORGANIZAÇÃO DSO EXPERIMENTOS:	75
4.2. REPLICAÇÃO DO SISTEMA DE TINGIMENTO	85
4.3. PADRONIZAÇÃO - DETERMINAÇÃO DA FÓRMULA PADRÃO.....	86
4.3.1. Tingimento em preto	86
4.3.2. Tingimento em vermelho	87
4.3.3. Tingimento em azul	88
4.3.4. Tingimento em verde.....	88
4.3.5. Tingimento em rosa, verde e violeta	89
4.4. OTIMIZAÇÃO	91
4.4.1. Otimização da coloração artificial preta	92
4.4.2. Otimização da coloração artificial vermelha	96
4.4.3. Otimização da coloração artificial azul	99
4.4.4. Coloração artificial verde	104
4.4.5. Coloração artificial rosa com corante orgânico.....	107
4.4.6. Coloração artificial verde com corante orgânico.....	109
4.4.7. Coloração artificial violeta com corante orgânico.....	112
4.5. SISTEMA DE TINGIMENTO INDUSTRIAL (CONVENCIONAL)	114
4.5.1. Tingimento em preto	114

4.5.2.	Tingimento em vermelho	115
4.5.3.	Tingimento em azul	116
4.5.4.	Tingimento em verde.....	116
4.5.5.	Tingimento em rosa	117
4.5.6.	Tingimento em verde.....	117
4.5.7.	Tingimento em roxo	117
4.6.	ANÁLISE ESPECTROFOTOMÉTRICA	118
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	120
5.1.	COLORAÇÃO ARTIFICIAL PRETA.....	121
5.2.	COLORAÇÃO ARTIFICIAL EM VERMELHO	130
5.3.	COLORAÇÃO ARTIFICIAL EM AZUL.....	138
5.4.	COLORAÇÃO ARTIFICIAL EM VERDE	146
5.5.	COLORAÇÃO ARTIFICIAL ROSA (CORANTE ORGÂNICO)	154
5.6.	COLORAÇÃO ARTIFICIAL VERDE (CORANTE ORGÂNICO)	166
5.7.	COLORAÇÃO ARTIFICIAL VIOLETA (CORANTE ORGÂNICO)	177
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	189
7.	CONCLUSÃO.....	191
8.	REFERÊNCIAS	193

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros sistemas industriais relacionados ao tingimento de gemas ocorreram nas colinas de Idar-Oberstein na Alemanha, no século XVIII, onde diversas minas foram lavradas para a extração deste mineral. A partir do ano de 1.800, a produção de material com boa qualidade começou a decair em função de crises no setor industrial e decadência da conjuntura local, acarretando no fechamento de inúmeras minas, inclusive as duas maiores, o Baunholder e a Steinkeulenberg (BANCROFT, 1984).

Cerca de três décadas depois da crise no setor alemão foram descobertos os maiores depósitos de ágatas, no Rio Grande do Sul, momento no qual a economia regional gaúcha foi beneficiada por este setor mineral.

Neste cenário o valor de produção/comercialização reduzido das gemas brasileiras resultou no encerramento das atividades de várias minas na Alemanha, segundo Bancroft (1984). Porém, em contrapartida, reacendeu o segmento de lapidação destes minerais. A partir desta nova realidade, o setor mineral teve o domínio inicial do mercado alemão, direcionado para a região Sul, com a busca pelo controle da emergente indústria de ágatas brasileiras, reporta o autor. Assim, surgiram os primeiros compradores estrangeiros, congregando lavras e sítios com potencial de prospecção deste bem mineral.

As ágatas do Rio Grande do Sul se caracterizam por formatos, cores e tamanhos diferentes das alemãs, apresentando cores mais acinzentadas e tamanhos que podem tomar proporções variadas. E ao longo das décadas, o setor mineral riograndense tornou-se um dos maiores produtores de ágatas e ametistas, com capacidade de abastecimento do mercado internacional (Tubino, 1998), fato esse que perdura até os tempos atuais.

E, atualmente, a inexistência de acompanhamento técnico no processo de beneficiamento de ágata, agregado aos métodos utilizados na fase de tingimento, promove baixo índice econômico e elevados custos operacionais no setor mineral.

Fato este, nada divergente ao cenário que se estabeleceu a economia mineral local ao longo dos anos, pois a muitas décadas o processo de beneficiamento vem sendo desenvolvido abalizado por técnicas rudimentares, carência de mão de obra especializada, extrema falta de acompanhamento profissional, conhecimento empírico e poucas pesquisas relacionadas aos processos de tingimentos, na concepção de Ericksson *et al* (2015).

No entanto, o que deveria ocorrer de fato, seria o conjunto dessas situações ajustadas de forma construtiva, viabilizando, orientando e promovendo o avanço tecnológico. Isso,

associado a conjuntura sócio econômica atual do setor, tendo em vista que a economia do segmento mineral tem um papel relevante no cenário nacional.

Na analogia de Bancroft (1984), mesmo os alemães dominando o conhecimento acerca do processo de tingimento de ágatas, no século XVIII, o mineral extraído de suas minas não apresentava características propícias para coloração artificial. No entanto, as ágatas brasileiras, especificamente as do Rio Grande do Sul, apresentavam um grande potencial para alteração de coloração por métodos artificiais, sendo esta característica atribuída, empiricamente, à porosidade do material gemológico.

Assim, durante séculos, as ágatas da região Sul são submetidas aos processos de tingimento, visando a alteração de sua cor natural, ora desvalorizada por apresentar tons acinzentados. No entanto, produto mineral beneficiado continua a ser comercializado em larga escala e o mercado consumidor admite peças tingidas artificialmente como parte do processo de beneficiamento (Mattos, 1974). Assim, a economia do setor mantém fluxos ascendentes tanto para minerais em bruto, quanto para os beneficiados.

Mediante o exposto e considerando o fato da aceitabilidade de coloração artificial da ágata do RS, verifica-se a estagnação do campo de pesquisa acerca dos processos de tingimento. Desta forma, objetivou-se o desenvolvimento do presente trabalho para reavaliar os métodos de tratamento de gemas, assim como buscar alternativas viáveis economicamente, com redução de custos operacionais e energia envolvida no processo.

Na análise de métodos e processos de tingimento pesquisados no APL de Pedras, Gemas e Joias de Soledade/RS, foram identificados diferentes procedimentos de tingimento empregado nas gemas, sem controle de técnicas operacionais, evidenciando a relevância de estudos no que diz respeito ao mecanismo em que se processam todas as etapas envolvidas no tratamento de gemas.

Assim sendo, realizou-se o levantamento de dados e informações *in loco*, junto à empreendimentos locais que exercem a atividade de beneficiamento de minerais com a etapa de tingimento em ágata. Posteriormente, se vislumbrou a determinação da formulação das soluções tingidoras para algumas cores.

Inicialmente, a pesquisa baseou-se no tingimento por corantes orgânicos, resultando nas cores verde por uso do corante Verde Brilhante, rosa por uso de Rodamina B e violeta por Cristal Violeta. Com a carência verificada no segmento mineral, a pesquisa expandiu para mais quatro cores obtidas a partir de reações químicas com ácidos inorgânicos, sendo estas a preta, vermelha, azul e verde.

A amostragem foi classificada conforme tipologias atribuídas às características predominantes das gemas, complementando com análises espectrofotométricas antes e depois do tingimento e, ainda, após o polimento de cada peça, via demarcação a *laser* para os pontos avaliados.

Na sequência, ocorreu o processo de replicação e testes inerentes ao tipo de reagentes utilizados, padronização e otimização dos métodos de tingimento, por meios quantitativos e qualitativos, visando a continuidade da redução de custos agregados ao mineral beneficiado, assim como minimização do impacto sócio ambiental.

Contudo, após a análise de dados e interpretação dos resultados, se preconizou a criação e/ou adaptação de técnicas de tingimento de ágatas, por processo otimizado, relacionado a quantificação dos reagentes associados à qualidade da cor, com redução ou eliminação do tempo de energia inerente ao processo convencional. Isso, aplicado a avaliação da qualidade do tingimento nas diferentes categorias de ágatas usadas, sendo estas denominadas bandada, massa, sal e vidrada.

Por fim, esta dissertação está assim organizada:

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O principal objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de formulação eficiente e otimizada para o tingimento de ágata, visando a quantificação de reagentes associada à qualidade da cor, com redução dos custos operacionais, redução do tempo de energia consumida no processo e, por consequência, minimização do impacto associado à atividade de beneficiamento de minerais com tratamento químico e/ou termoquímico.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Determinar a fórmula padrão, durante o processo de padronização, para sete cores. Sendo quatro cores (preta, vermelha, azul e verde) a partir de reagentes ácidos inorgânicos e três cores (rosa, violeta e verde) para corantes orgânicos.
- II. Otimizar o processo de tingimento para as sete cores padronizadas, visando a redução de energia agregada ao processo produtivo;
- III. Avaliar a interferência das categorias de ágata bandada, massa, sal e vidrada, quando submetidas aos diferentes processos de tingimento;
- IV. Comparar os resultados obtidos na otimização com o sistema de tingimento convencional (industrial), a partir de parâmetros espectrofotométricos, aspecto visual e tempo de aquecimento dos sistemas;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. HISTÓRICO DO TINGIMENTO DE ÁGATA

Não se tem conhecimento ao certo de quando teve início a utilização de recursos naturais para exploração de gemas como a ágata, mas pode-se dizer que o uso desta remonta a tempos distantes, passando por oscilações de mercado até os dias atuais.

O uso da ágata teve também grande desenvolvimento no tempo das Cruzadas, quando a Europa Central foi abastecida com matéria prima vinda da Sicília e da Ásia. Depois de uma longa paralização da indústria de lapidação de ágata, veio novo surto de progresso com a importação de ágatas brasileiras, por volta do ano de 1834. A partir dessa data a indústria de ágata teve grande desenvolvimento [...]. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEMOLOGIA, 1957, p. 1).

Atualmente, diante a tecnologia disponível, existe uma deficiência no setor produtivo, assim como em referências sobre os processos de tingimento aplicados às ágatas, os quais já eram escassos e precários em tempos remotos, reporta Ericksson e Brum (2017). Provavelmente, isso estaria associado à técnicas e formulações secretas, envolvendo a competitividade internacional e o monopólio do conhecimento em que o setor mineral encontra-se inserido.

Os primeiros conhecimentos úteis para colorir as ágatas foram revelados em 1913, pelo Dr. O. Dreher, residente em Idar, grande e famoso centro industrial de lapidação de ágata, na Alemanha. Antes desse ano tais conhecimentos eram mantidos em segredo. Ainda hoje, quase toda a literatura existente sobre a coloração artificial das ágatas se baseia no trabalho original do Dr. Dreher. É evidente que a simples leitura de publicações técnicas não basta para deixar alguém suficientemente habilitado para realizar, com perfeição, a coloração de ágatas; torna-se também necessária uma boa e longa prática nesta atividade para conseguir se resultados satisfatórios. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEMOLOGIA, 1957, p. 1).

Na descrição feita por Bancroft (1984), os romanos teriam passado aos comerciantes alemães de gemas, de Idar, o conhecimento para o tingimento em preto, produzindo assim, a ágata negra. E, em 1819, as ágatas foram submetidas a imersão durante três semanas em uma espécie de xarope quente de mel ou açúcar seguido de um banho em ácido sulfúrico. Sendo esta técnica difundida até os dias atuais.

Segundo Knecht (1957), a coloração artificial aplicada nas ágatas depende de sua introdução em substâncias que se tornam coloridas por efeito de reações químicas. De forma

genérica, o autor descreve que as ágatas são constituídas por finíssimas camadas justapostas de sílica formando camadas ou listas, com aspectos variados. O autor também remete ao fato da aceitabilidade de cor em função de poros, assim algumas das listas são pouco porosas e por isso não absorveriam com tanta eficiência o material corante.

Nesta abordagem, também foram desenvolvidas outras técnicas de coloração artificial, com o objetivo de produzir ágatas tingidas em diversas cores. Surgem então, as primeiras menções sobre o tingimento de ágatas, pois conforme reporta Bancroft (1984), as zonas porosas na ágata aceitariam soluções específicas que confeririam cor, a partir de determinadas substâncias, que teriam suas fórmulas mantidas como segredos industriais.

Michelin *et al* (2013 *apud* Frondel, 1962; Hurlbut Jr & Switzer, 1980; Heeman, 2005) descrevem a ágata como uma variedade da calcedônia, apresentando bandeamentos em que as bandas são dispostas em formatos concêntricos ou paralelos na parte interna dos geodos. Sendo que a mesma apresenta certa quantidade de água em seu conteúdo, além de microporos com diâmetros que atingem até a marca de 0,1 μm .

Então, a ágata sendo uma gema classificada como porosa, segundo autores, sua coloração natural poderia ser alterada com adição de pigmentos e reagentes, podendo esses serem orgânicos e/ou inorgânicos. A coloração artificial de gemas como as ágatas ocorre deste a antiguidade, tornando-se uma prática difundida mundialmente até os tempos atuais, reporta Ericksson *et al* (2015).

Assim, na descrição de Brum *et al* (1998), a etapa de tingimento tem o início após a realização do corte e desbastes e, raramente, após o polimento. Nesta analogia, o tingimento após o polimento seria inapropriado em função do entupimento dos poros na superfície da ágata e em função de elevadas temperaturas para cores que necessitam da etapa de aquecimento em forno. No entanto, existe linha de pesquisa desenvolvida pelo LAPROM que já desponta com alguns resultados divergentes ao descrito pelos autores.

Para se chegar na etapa de tingimento, os geodos de ágatas, necessitariam passar pela seleção de matéria prima, cortes, desbastes e limpeza (Tubino, 1998). Após a lavagem das peças, segue para a coloração artificial, podendo ser por tratamento físico-químico estando associado ou não com tratamento térmico.

Seguindo a industrialização, as peças em beneficiamento são submetidas a nova lavagem e diferentes tipos polimento, finalizando com o produto acabado ou proseguindo a cadeia produtiva para montagem de peças ornamentais e/ou bijuterias, verificado atualmente no cenário local.

Conforme já descrito por Tubino (1998), o processo de tingimento é dividido em dois segmentos, sendo um formado por soluções tingidoras a partir de reagentes em meio ácido, compondo as colorações artificiais em preto, vermelho, azul e verde. Já o outro, é constituído de corantes orgânicos, com colorações em tons de rosa, violeta e verde. Nessa época, a grande maioria das soluções corantes utilizadas eram em meio ácido, objetivando promover reações químicas no interior dos poros das ágatas, acelerando o processo de coloração artificial das gemas (TUBINO, 1998).

Em relação às tecnologias aplicadas ao tratamento de gemas, pode-se dizer que é intensamente pesquisada em países industrializados, entretanto, não se encontra disponível no segmento mineral por razões de ordem econômica (Liz, 2008). Assim, a prática industrial local para o tratamento de gemas é realizada de forma empírica, geralmente, sem conhecimento e domínio técnico-científico, ocasionando consequentes perdas no rendimento do processo, agregado a prejuízos em função de resultados ineficientes, baixando o valor comercial do material gemológico beneficiado.

Dentre o leque de processos para tratamento de gemas, a alteração da cor é baseada em técnicas como tingimento, impregnação, recobrimento, irradiação, processos termoquímicos, além de outros, na análise de Ericksson *et al* (2013). Desta forma, apesar dos aparatos necessários, complexidade de equipamentos e instalações, os processos de irradiação são os mais utilizados a nível mundial. Sendo que, nesse processo, a cor final é definida pela dose de radiação e pelas impurezas da pedra, porém, no Brasil é utilizado irradiação por raios gama. A fonte geradora da radiação Gama é o Cobalto 60, sendo que esta radiação não deixa resíduos e o material processado não se torna radioativo (Ericksson *et al*, 2013 *apud* Strieder, 2005; Tubino, 1998).

Outro aspecto relevante, no tocante ao tingimento, é o reconhecimento de características físicas, químicas e tecnológicas intrínsecas às ágatas como, por exemplo, sua caracterização de porosidade, os tipos de estruturas micro cristalinas que constituem as bandas, a temperatura durante o tratamento térmico e efeitos adversos do resíduo deixado pelo óleo durante o processo de corte (TUBINO, 1998).

No tangente aos processos termoquímicos, estes baseiam-se no emprego de determinados reagentes químicos, que em combinação com temperatura de operação (entre 180 e 260 °C), resultam em reações químicas que possibilitam a fixação de cor nas gemas, em específico, ágatas (Ericksson *et al*, 2013). Seguindo nesta abordagem, a vantagem do processo, frente aos demais é a possibilidade de reprodução das condições operacionais, com replicação

exata de cores em larga escala, observando as características de cada gema e o padrão de deposição.

O tratamento químico em gemas está diretamente ligado as principais características estruturais do mineral em questão. Assim, nesta linha, já se tem estudos preliminares por microscopia óptica para os principais tipos de ágata que ocorrem na região de Salto do Jacuí/RS.

Amostras de ágata foram avaliadas, considerando o aspecto de bandamento macroscópico fraco a imperceptível, ágata com bandamento paralelo e ágata com bandamento concêntrico. Sendo verificado que a tipologia desta gema, denominado “ágata Umbú”, é a que mais facilmente aceita o tingimento, desta forma, apresenta elevada valorização e intensa procura para a industrialização (Gouvêa Junior *et al*, 2000).

Assim, com a aplicabilidade do tratamento das gemas, é possível agregar valor ao produto bruto, viabilizando a sua comercialização em melhores condições. A seleção do processo utilizado ou do conjunto de processos a serem empregados está intimamente relacionada com as características da ágata a ser colorida, assim como com a finalidade da mesma e interesse de mercado, segundo Ericksson *et al* (2013 *apud* Brum e Silva, 2010; Dambros, 2008).

Na analogia de Liz (2008), em consequência da variação da composição que pode ocorrer entre gemas de uma mesma lavra ou de lavras distintas. E, geralmente, não se pode estabelecer parâmetros precisos de tratamento que seja o ideal para uma amostra qualquer, devido a variação do comportamento dessas. Nesse contexto, também se avalia tipos genéricos de ágata, segundo Gouvêa Junior *et al* (2000), considerando que podem ser observados bandas de quartzo microcristalino (quartzo fino), alternadas com bandas de calcedônia. Assim, as bandas de calcedônia podem ocorrer como agregados de fibras paralelas, agregados fibrorradiados de diferentes amplitudes ou como agregados esferulíticos.

Ademais, segundo autores, a ágata Umbú, vista ao microscópio, é constituída por cristais fibrosos de quartzo com alongação negativa (calcedônia), em agregados radiados de pequena amplitude, interdigitados, definindo bandas que podem ultrapassar 1 cm de espessura

Então, na aplicação de técnicas de tratamento deve-se levar em conta a possibilidade de variedade da composição e do comportamento das gemas. Sua aplicação deve ser feita com cautela, de modo a não produzir modificações indesejáveis e irreversíveis, que arruinariam o material em beneficiamento (LIZ, 2008).

Diante o exposto, são poucas as referências que abalizam o enredo do tratamento químico e termoquímico para ágatas. Conforme Tubino (1998), pouco se conhece sobre o

tingimento de gemas, por aludir segredos industriais, estando o segmento mineral à margem de publicações especializadas sobre o assunto.

Nos dias atuais, a realidade muito se assemelha de algumas décadas atrás, pois “atualmente, diante toda tecnologia disponível, ainda persiste a deficiência em referências confiáveis sobre os processos de tingimento aplicado nas ágatas, os quais já eram escassos em tempos remotos” (ERICKSSON e BRUM, 2017, p. 60).

3.2. A ÁGATA NO CONTEXTO DO RIO GRANDE DO SUL

Na região denominada Distrito Mineiro do Salto do Jacuí, localizado na região central do Estado, estão os principais depósitos de ágatas, os quais são explorados via atividade de garimpo às margens dos rios Ivaí e Jacuí, salienta Juchem (2014). Sendo que Salto do Jacuí é o maior produtor do Estado. Outros municípios que a produzem são Quaraí, Sant’Ana do Livramento, Soledade, Fontoura Xavier, Progresso, Frederico Westphalen, Rodeio Bonito, Cristal do Sul, Iraí, Ametista do Sul, Planalto e David Canabarro. Agostini *et al* (1998) citam produção também em Campos Borges, Fortaleza dos Valos, Segredo e Sobradinho.

A origem de geodos de ágata e ametista, segundo Hartmann e Baggio (2015), ocorreu na alteração de fluidos minerais de rocha basáltica, transformando-se em argilo minerais. Assim, o cobre retido dentro dos minerais foi liberado, sofrendo deposição nas cavidades da zona amigdaloidal e na superfície de disjunções colunares. Sendo que, a identificação clara de indicadores geológicos intensificou-se na última década, com estudos direcionados aos eventos hidrotermais.

Segundo Schumann (1985), a ágata é classificada como uma calcedônia com bandas, podendo apresentar mesclas de opala. Nesta concepção, podem aparecer cores distintas para as bandas, assim como, também, o surgimento de tonalidades bastantes uniformes entre elas. Assim, o autor denominou a coloração apresentadas pelas jazidas de ágatas da Alemanha, atualmente esgotadas, com a aparência sutil de tons em vermelho, castanho e rosadas as quais são separadas por capas intermediárias com coloração cinza e luminosa.

A ágata pode ocorrer agregada em rochas sedimentares, assim como vulcânicas do tipo extrusivo (Flörke *et al*, 1982). As jazidas localizadas no Rio Grande do Sul, em especial na região denominada de Salto do Jacuí, estão os maiores depósitos em volume de ágata a nível

mundial. As jazidas da região Sul, geralmente, estão associadas com as rochas vulcânicas cretáceas que constituem a Formação Serra Geral da Bacia do Paraná.

As teorias sobre a formação das ágatas apresentam certas peculiaridades e divergências. No início, se pensava em cristalizações de dissoluções enriquecidas de sílica, as quais seriam sobrepostas umas às outras dentro de vazios de ar, reporta Schumann (1985).

No entanto, a teoria da origem das ágatas a cristalização zonal partir da rocha matriz, passa a ganhar relevante importância. Nessa lógica, ocorreria um resfriamento na lava, a partir do exterior da gema, onde as gotículas de sílica em forma de fluido se depositariam.

Cada uma das bandas, preferencialmente paralelas à parede externa, apesar de serem espessuras distintas, têm a mesma solidez em toda a “amêndoa” ou nódulo. Na capa externa e primeira da ágata formou-se uma crosta branca por meteorização. Se o interior da cavidade não for totalmente cheio pela ágata, podem formar-se cristais bem desenvolvidos no espaço restante: cristal de rocha [...], ametista [...] e quartzo esfumado [...]. Uma “amêndoa” deste tipo, com um oco recoberto por cristais, é denominada drusa, antigo termo da mineração, ou também, mais recentemente, geodo. (SCHUMANN, 1985, p. 132).

Na concepção de Juchem (1999), a calcedônia maciça e a variedade bandada ágata, surgem em camadas finas na região mais extrema dos geodos, desta forma, representa a primeira fase de cristalização silicosa. No entanto, podem apresentar geodos de dimensões centimétricas, onde a ágata pode estar presente como sendo o único material de preenchimento.

Como já relatado, uma das jazidas de ágata mais importantes de mundo, é da região de Salto do Jacuí/RS, em função da quantidade e a qualidade das gemas produzidas nas lavras locais. Assim, na pesquisa que Gouvêa Junior *et al* (2000) desenvolveram, tentou relacionar as características mineralógico/estruturais desse mineral, com as respostas aos processos de tingimento a que esse material é submetido, via análises por microscopia óptica e eletrônica, difratometria de Raios X, análises químicas e ensaios de tingimento.

No entanto, nos estudos desenvolvidos por Michelin *et al* (2017), ao comparar ágatas oriundas do Distrito Mineiro de Salto do Jacuí/RS com geodos provenientes da Alemanha, constatou que os últimos apresentam determinada semelhança no quesito padrão de bandamento. No entanto, alguns exemplares de ágatas apresentam formatos irregulares com predominância de ametista e quartzo incolor, o que diverge da característica do depósito de Salto do Jacuí, porém, são comuns em outras regiões do Rio Grande do Sul.

As ágatas podem possuir distintas aparências, as quais variam de tons opacos à quase transparentes, variando em muito na sua transparência. Desta forma, ocorre a descrição de que

“as ágatas são encontradas como inclusões esféricas ou em forma de amêndoa, de alguns milímetros a vários metros de circunferência, em rochas vulcânicas pobres em sílica (meláfiro, pórfiros). O desenho em bandas se origina de uma cristalização rítmica”. (SCHUMANN, 1985, p. 132).

Nesta ordem, o material gemológico proveniente da região de Idar-Oberstein, apresentam a presença de calcita com tons alaranjados. Assim como, também, são descritos nódulos de aragonita com, aproximadamente, 25 cm de diâmetro e inclusões de pirita em cristais de quartzo incolor, conforme Michelin (2017 *apud* Patsh, 2000).

A ágata riograndense “ocorre preenchendo geodos em basaltos toleíticos da Formação Serra Geral (Jurássico-Cretáceo) da Bacia do Paraná”. (SOTILI *et al*, 2002, p. 29). Assim, na atualidade, ainda se tem o consenso de que as ágatas do RS apresentam facilidades para impregnação da coloração artificial, fato esse que as diferencia das extraídas em depósitos alemães.

Seguindo uma linha de classificação gemológica, definida por Brum *et al* (1998), os geodos de ágatas estão catalogados de acordo com um padrão de preenchimento de suas estruturas. Para tanto, deve-se ressaltar que tais padrões podem apresentar variações extremas por características gemológicas. Assim, cada geodo pode ser definido como uma unidade única dentro do contexto natural de sua formação. A Figura 1, a seguir, contém a descrição das principais características óticas e físicas da ágata do Rio Grande do Sul.

Formas cristalinas, hábitos e agregados	Agregados micro a criptocristalino de quartzo. Agregados maciços, bandados concêntricos e/ou paralelos e complexos; agregados colomorfos.
Cor, pleocroísmo e fluorescência	Cor em várias tonalidades de cinza, cinza azulado, castanho, vermelho, branco e preto; mais raro azul e verde. Pleocroísmo não observado. As bandas de cores mais claras podem ser fracamente reativas (UVC) a reativas (UVL), emitindo luz em diferentes tons de verde, amarelo e violeta.
Transparência e brilho	Translúcida a semitransparente; opaca. Brilho resinoso a vítreo; fosca
Dureza (Mohs) e densidade	Dureza (D) = 6,5 a 7,0; Densidade (d) = 2,63 g/cm ³ (+0,02;-0,04)
Características ópticas	Polariscópio: anisótropa Refratômetro: No(ω)=1,536 a 1,540; Ne(ϵ)=1,540 a 1,544 Birrefringência=0,00 a 0,008 Caráter e sinal óptico: U (+)
Inclusões	Minúsculos cristais de quartzo e óxidos de Fe e Mn (por vezes dendríticos), podem acompanhar o bandamento.

Figura 1. Principais características mineralógicas da ágata do Rio Grande do Sul.
Fonte: Adaptado de Juchem, 2014.

Considerando o contexto de formação e os tipos de jazidas de ágata, as quais seguem por via de estruturação genericamente típica, também se tornam relevante considerar fatores como o perfil estratigráfico da sucessão basáltica da região mineralizada, a qual pode apresentar determinadas variações locais, na visão de Tubino (1998), assim, também, poderiam ocorrer ausências em determinados pontos do derrame.

Desta forma, são definidos três padrões básicos de deposição de ágata nos geodos, identificados macroscopicamente, por Brum *et al* (1998), sendo o padrão complexo, padrão homogêneo e o bandado. Este último, é composto por bandas concêntricas, plano-paralelas e a associação entre bandas concêntricas e plano-paralelas.

De uma forma geral, na ótica dos autores, o padrão homogêneo é caracterizado pela ausência de bandas evidentes a nível macroscópico, porém ao analisar a exames em microscopia petrográfica, pode ser confirmado o bandamento do mineral. Este padrão é denominado como “ágata umbu” e se caracteriza pela larga procura por setor mineral local, para ser utilizado como matéria prima no tingimento de ágatas. Na linguagem coloquial, atualmente, tal padrão é nominado pelos comerciantes locais, como ágata de “massa” (Figura 2), a qual nos remete uma atenção especial em suas características microscópicas de bandamento em oscilações, pois estas “embora não produzam bandeamento de cor, resultam em bandas com diferenças textuais, com

variações na granulação dos micro cristais de quartzo, na disposição das fibras de quartzo microcristalino e/ou variações na porosidade”. (BRUM *et al*, 1998, p. 37).

Levando em consideração, também, que os depósitos de ágata que ocorrem no Derrame basáltico Jacuí, de afinidade toleítica composto por matriz vítrea hipohialina e por glomeropórfiros de plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos, apresentando textura vesículo-amigdaloidal, conforme Michelin (2007).



Figura 2. Ágata com padrão homogêneo, categoria massa.
Fonte: autora.

O segundo padrão de ágata, o mais comum, na concepção de Brum *et al* (1998) apresenta bandamento, sendo suas bandas dispostas de forma concêntrica no interior dos geodos, assim como as bandas plano-paralelas, entretanto as formas concêntricas possuem maior representatividade como padrão de deposição. De qualquer forma, independente da disposição do padrão de bandas, coloquialmente, o segmento mineral da região Sul, atribui a denominação “ágata bandada” para todos os subgrupos de padrão bandado, Figura 3.

Fato também descrito por Tubino (1998), quando relata que os minerais associados de maior ocorrência no interior dos geodos, além da ágata, são a calcedônia, cristal de rocha, calcita, apofilita, opala, zeolitas, podendo estarem depositadas em sequências paralelas ou concentricamente.



Figura 3. Ágata com padrão bandada, categoria bandada.
Fonte: autora.

Tendo em vista o exposto e as características da ágata bandada, ressalta-se, que este padrão, também pode apresentar aceitabilidade considerável para o tingimento artificial em diversas cores, assim como para o tratamento térmico e/ou termoquímico, conforme verificado nos resultados apresentados por Ericksson *et al* (2013 e 2015).

Em relação ao último padrão catalogado, os geodos com padrão complexo, apresentam padrões de deposição irregulares “os quais se associam ou não bandas concêntricas e/ou plano-paralelas, produzindo peças incomuns” (BRUM *et al* 1998, p. 38).

Outro fator relevante é a presença de quartzo nos diferentes padrões de preenchimento, o qual pode influenciar de forma significativa no tangente ao tratamento das gemas, tendo em vista as características mineralógicas do material.

A ágata, grupo do quartzo, possui características notórias, sendo que as principais se encontram descritas na Tabela 01, a seguir.

Tabela 1. Característica mineralógicas de Ágata.

Característica	Descrição
Cor	Variável, em faixas ou camadas
Cor de traço	Branco
Dureza de Mohs	6^{1/2} - 7
Densidade relativa	2,6 – 2,65
Clivagem	Não há
Fratuza	Desigual
Sistema cristalino	Hexagonal (trigonal), agregados microcristalinos
Composição química	SiO₂, óxido de silício
Transparência	Translúcido, opaco
Índice de refração	1,544 – 1,553
Birrefringência	+0,009
Dispersão	Não há
Pleocroísmo	Não há
Espectro de absorção	Tingido de amarelo: 7000 (6650), (6340)
Fluorescência	Varia de acordo com a natureza da camada; em parte forte; amarela, azul esbranquiçada

Fonte: Schumann (1985, p. 132).

A presença de quartzo na ágata pode ocorrer de forma a preencher as cavidades mais internas ou atapetando os geodos, na visão de Brum *et al* (1998), no entanto este tipo de ocorrência também é constatado em geodos com padrão homogêneo.

A quantidade de quartzo na ágata, quando atinge características macroscópicas com aspecto vítreo singular, atualmente, na linguagem usual entre o setor mineral local da região de Soledade/RS, denomina-se genericamente como “ágata vidrada”.

Nesses casos, as variedades cristal de rocha e leitoso são as mais frequentes, com cristais milimétricos a centimétricos, geralmente bem cristalizados, registrando-se por vezes a presença de ametista. Aparecem ainda cristais diminutos de quartzo em agregados globulares ou recobrimdo cristais mais desenvolvidos de quartzo ou calcita. (BRUM *et al*, 1998, p. 38).

Considerando que cada geodo apresenta características únicas, em função da origem e formação gemológicas, existe uma diversidade quando a ágata é classificada por tipologias, dando origem a um extenso número, chegando a marca de 700 diferentes denominações distintas para a ágata, conforme Brum *et al* (1998 *apud* Frazier & Frazier, 1988).

A seguir, na Figura 4, apresenta-se amostra de ágata, enquadrada na categoria vidrada, conforme reporta Ericksson *et al* (2013), na classificação realizada para estudos de processos e métodos para tingimentos de gemas.



**Figura 4. Ágata da categoria vidrada.
Fonte: autora.**

Ao considerar as características cristalográficas, é interpretado por Tubino (1998) que a calcedônia é a denominação dada ao grupo de variedades criptocristalina fibrosa do quartzo, assim a ágata seria uma variedade bandada da calcedônia. O resultado desta variação apresenta cores variadas e translúcidas, além de poros submicroscópicos na maioria das bandas que são constituídas por estruturas granulares fina e fibrosas.

Em relação ao conteúdo mineralógico, a presença de quartzo na ágata do Rio Grande do Sul é bem comum, considerando todo o arranjo do geodo. Neste sentido, as peças adquirem valores comerciais diferenciados, dependendo da finalidade do beneficiamento e aos processos a que serão submetidas.

No grupo identificado como “ágata e quartzo” definido por Brum *et al* (1998), a presença do quartzo esbranquiçado e em agregados mal cristalizados se torna ordinária. Desta forma os geodos podem apresentar preenchimentos parciais, com quantidades significativas de quartzo (sal) em relação à ágata.

No setor mineral, ocorre a denominação de “ágata de sal” para esse tipo de ocorrência (Figura 5), em função da alta quantidade de quartzo presente na forma de agregados de cristais com formações incompletas ou até mesmo cristais mal formados. Geralmente, ao beneficiar esse tipo de material, ocorrem fraturas das peças e geração de elevada quantidade de refugos, devida à fragilidade ao manuseio.



**Figura 5. Ágata da categoria sal.
Fonte: autora.**

Entretanto, a linha de pesquisa também emerge para aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), assim como Sistema de Energia Dispersiva (EDS) em gemas, como relatado por Duarte *et al* (2003) com identificação de minerais de manganês em geodos de ágata e quartzo.

Assim, Heemann (1997) já denota que os geodos centimétricos da região de Salto do Jacuí/RS, preenchidos por calcedônia maciça ou bandada, são extraídos de basalto andesítico intemperizado. E, Duarte *et al* (2003) descreve que alguns desses geodos apresentam agregados de cristais milimétricos e aciculares, de coloração preta, brilho metálico desenvolvidos sobre fases silicosas, alvitando a ocorrência de duas formas de manganês, correspondendo a pirolusita (MnO_2) e a outra, possivelmente, a hollandita ($MnBaMn_6O_{14}$).

3.3. MÉTODOS ÓPTICOS NO VISÍVEL E A COR

3.3.1. Sistemas de avaliação da cor

Os métodos ópticos para análise dependem de dois fatores, sendo o primeiro a medição da quantidade de energia radiante de um determinado comprimento de onda que será absorvido pela amostra ou, o segundo, emissão de energia radiante e da medição da quantidade de energia emitida em determinado comprimento de onda, conforme Vogel (1988). Desta forma os métodos de absorção são classificados como espectrometria no infravermelho, espectrometria no ultravioleta e espectrometria no visível (colorimetria).

De uma forma geral, a variação da cor de um sistema, com alteração da concentração de um determinado componente, constitui a base para a denominação química atribuída à análise colorimétrica. Assim, a cor pode ser intrínseca ao constituinte analisado ou provocada pela formação de um composto com cor.

Nesta tangente, para a determinação da qualidade da cor, as análises instrumentais em equipamentos se tornam indispensáveis para a avaliação da eficiência e medições de cor. Conforme reportado por Lopes (2009), para tal eficiência é necessário que seja empregado colorímetros ou espectrofotômetros. Porém, não se pode descartar em definitivo a interpretação do observador humano para o controle de reprodução de cores ou avaliações finais de complexidade envolvendo texturas diversas, ciclo de produção, padrões estabelecidos pelos clientes e comparação de cores.

Para tanto, a norma ASTM D 1729-96, estabelece critérios para a construção e utilização de cabines, tendo em vista a definição de condições padronizadas de observação, com utilização de iluminação, preparo de amostras, seleção de observador, cores internas, entre outros quesitos.

3.3.2. Percepção da cor

A visão humana é sensível para as radiações da luz, de forma que as ondas que apresentam diversos comprimentos de onda possam provocar sensações de cores diferentes, conforme Vogel (1988), assim, interpreta-se que a cor é percebida como uma sensação. Pois uma mistura apropriada de luz, com esses comprimentos de onda, constitui a luz branca, a qual corresponde ao espectro do visível, ou seja, de 400 a 760 nm, Figura 6, a seguir.

Nesse contexto, a cor é percebida após o processamento de estímulos diferentes para cada cor em função de seus respectivos espectros, os quais são recebidos pelo cérebro humano, que é capaz de diferenciá-los, conforme representação da ilustração a seguir.

Na concepção de Petter (2008), o processo de percepção visual é a culminação do resultado de uma série de reações químicas as quais transferem as informações da visão para o cérebro, a partir da incidência da luz na retina do olho humano.

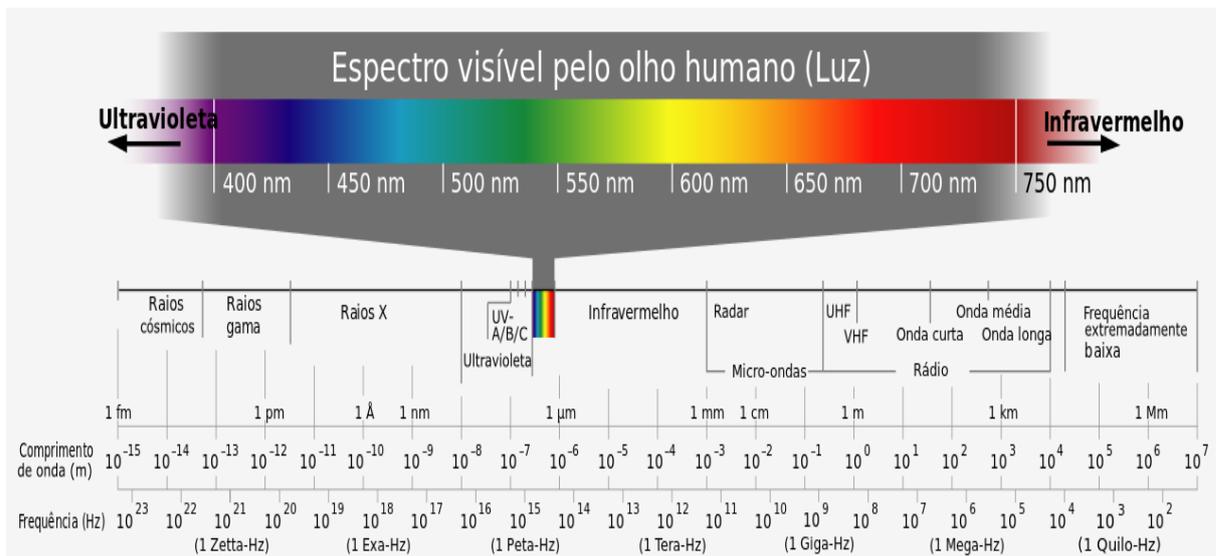


Figura 6. Ilustração do espectro visível pelo olho humano (luz), com identificação dos diferentes comprimentos de onda.

Fonte: worldquimicaa.blogspot.com.br.

Nesta analogia, a visão é considerada como um processo perceptivo, ademais, segundo Silva (2004 *apud* MCDONALD, 1997), o olho humano capta as radiações eletromagnéticas de comprimento de onda na faixa de 380nm a 760nm e as transforma em impulsos nervosos. Os impulsos dirigem-se ao cérebro, onde são analisados e interpretados como luz.

3.3.3. Cor

Por definição, a cor é a sensação recebida por meio de nossos olhos, devido à observação de um objeto colorido. Ela envolve aspectos psicológicos (os extintores de incêndio são pintados de vermelho) fisiológicos (a cor branca numa mesma intensidade de iluminação é menos cansativa) e físicos (a luz branca é a mistura de todas as cores). Trata-se de um fenômeno psicobiofísico, conforme Peixoto (2016 *apud* Petter & Gliese, [200-]).

Nesta mesma linha, a cor pode ser definida de várias formas, conforme a interpretação atribuída ao termo. No entanto, é uma característica de objetos que emitem, refletem ou transmitem radiação na faixa visível. Então, conforme reporta Silva (2004 *apud* HIRSCHLER, 2002), também é considerada uma sensação criada pela radiação e interpretada pelo ser humano de acordo com esses níveis físico, psicofísico e psicométrico.

Neste primeiro nível, a luz é a distribuição espectral da radiação emitida, refletida ou transmitida. Desta forma, existem variáveis como a refletância (R_λ), a dispersão (S_λ) e a absorvância (K_λ), para um determinado valor de comprimento de onda (λ). Já a nível psicofísico, a luz representa a reação do olho humano provocada pela radiação, com os valores triestímulos X, Y e Z e os valores das coordenadas de cromaticidade x , y e z . No nível psicométrico, ela é a melhor representação do espaço visual em números baseados em medição instrumental (SILVA, 2004, p 18).

Assim como, a cor de um objeto pode ser descrita como o efeito das ondas da luz visível que o ilumina, também se considera que uma parte dessa luz é absorvida e outra é refletida. No caso de objetos transparentes, a luz atravessa-o. Nesse contexto, a cor desse objeto é o resultado da porção da luz refletida ou que passa por meio dele, reporta Anghinetti (2012).

Na percepção do olho humano, quando um determinado objeto, reflete toda a cor incidente sobre si, se tem a sensação da cor branca. Assim como, o reconhecimento da cor preta se deve ao fato da absorção de toda a energia luminosa. Não obstante, a cor cinza surge pela absorção de uma determinada fração constante da luz entre o comprimento de onda de 400 a 700 nm, na descrição de Pérez (1996). Na Tabela 02, a seguir, consta a relação entre a cor absorvida e a cor visível.

Tabela 2. Comprimento de onda das cores.

Comprimento de onda (nm)	Cor (transmitida)	Cor complementar
400 – 435	Violeta	Verde amarelado
435 – 480	Azul	Amarelo
480 – 490	Azul esverdeado	Alaranjado
490 – 500	Verde azulado	Vermelho
500 – 560	Verde	Púrpura
560 – 580	Verde amarelado	Violeta
580 – 595	Amarelo	Azul
595 – 610	Alaranjado	Azul esverdeado
610 – 750	Vermelho	Verde azulado

Fonte: Vogel (1988, p. 533).

Nesta lógica, se emergem os sistemas de representação da cor, com as variáveis L^* , a^* , b^* do sistema CIELAB. Além disso, também existe o nível visual ou perceptual, onde as cores são representadas por sistemas de ordenação e caracterizadas em termos de tonalidade, luminosidade e saturação como, por exemplo, o sistema Munsell, NCS e o sistema Ostwald, reporta Silva (2004), os quais provocariam extensas descrições acerca do assunto.

A cor do ponto de vista sensorial, pode ser determinada por três características, sendo o tom, saturação e a luminosidade (intensidade). A primeira é o atributo da sensação visual, com estimativa da proporção de pureza total, com definição da porcentagem de tonalidade que está presente na cor, conforme Marcello (2013). A pureza de uma luz colorida é a proporção entre a luz pura da cor dominante e a luz branca necessária para produzir a sensação. Assim, através da saturação que pode ser diferenciado o vermelho e rosa, assim como o azul escuro do azul celeste.

O tom, a segunda característica, representa a sensação visual que se nomeia como verde, amarelo, azul, entre outras. Desta forma, apresenta um comprimento de onda bem característico correspondente a cada espectro de cor, de tal modo que o tom definirá a qualidade da cor em questão.

Nesta concepção, Lopes (2009) também descreve que a última característica, a luminosidade, representa a sensação visual que se percebe quando um determinado objeto emite mais ou menos luz. Destarte, a intensidade é o que corresponde a variável fotométrica, produzindo a sensação de luminosidade causada por um objeto que parece transmitir determinada fração da luz incidente.

3.3.4. Luz

Para definição de luz, cita-se a descrição realizada no contexto de controle metrológico, como sendo

[...] uma forma de energia constituída por ondas eletromagnéticas irradiadas de sua origem a uma velocidade de, aproximadamente, 300.000 km/s, no vácuo. O comprimento de onda de uma radiação eletromagnética, distância entre dois pontos homólogos de ondas adjacentes, por ter medidas que variam de angstroms (10^{-10} m) a quilômetros (10^3 m). (LOPES, 2009, p. 20).

Desta forma, a luz é composta por radiações de diferentes comprimentos de onda, cada uma correspondente a uma cor em particular. Tanto é, que na decomposição da luz branca em um prisma, é possível observar a projeção de uma série de cores diferentes, conforme experimento realizado por Isaac Newton em 1676, descrito pelo autor.

Ao observar a imagem da Figura 7, pode ser verificado que a luz branca apresenta todas as cores monocromáticas, ao contrário de outros espectros que serão apresentados ao longo do trabalho.

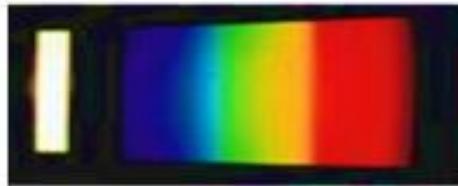


Figura 7. Espectro visível, a partir da decomposição da luz branca.
Fonte: Lopes (2009, p. 21).

Entretanto, o espectro da luz azul, apresenta raios do primeiro terço do espectro, assim como o verde apresenta o segundo terço e o espectro da luz vermelha apresenta raios do terceiro terço. Porém, a luz azul ciano apresenta cores monocromáticas do primeiro somada ao segundo terço do espectro. A luz amarela, cores monocromáticas do segundo mais o terceiro espectro, sendo a magenta, do primeiro mais o terceiro espectro, como pode ser verificado na Figura 8.

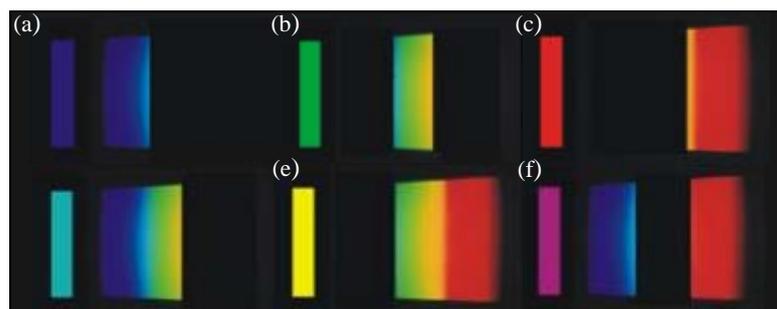


Figura 8. Decomposição do espectro da luz azul (a), verde (b), vermelho (c), ciano (d), amarelo (e) e magenta (f).

Fonte: Lopes (2009, p. 21).

Assim, a expressão numérica da potência relativa entre a fonte de luz emitente em cada comprimento de onda representa a distribuição espectral de potência radiante (*Spectral Power Distribution – SPD*), reporta Lopes (2009).

Considerando o comitê técnico para estudar o sistema visual e as cores, além da padronização realizada pela Comissão Internacional de Iluminação (*Comission Internationale de l’Eclairage – CIE*), para dirimir os termos acerca da iluminação, culminando nos estudos da colorimetria, o modelo CIE é independente dos meios de emissão e reprodução, estando embasado na percepção da cor como uma interpretação do olho humano.

Desta forma, o autor interpreta que a CIE desenvolveu padrões para diversos SPD de iluminantes, sendo esses recomendados para utilização nas avaliações colorimétricas. Assim, conseqüentemente, existem vários iluminantes, divididos por grupos de características semelhantes, porém os principais são o D65 e A. A distribuição espectral de alguns iluminantes é representada na Figura 9.

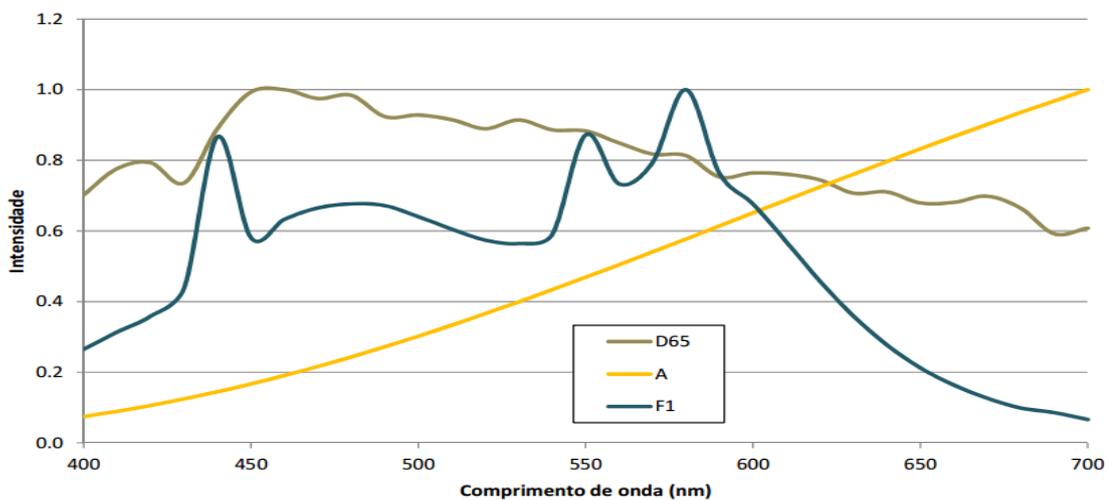


Figura 9. Intensidades de radiação normalizadas para os iluminantes D65, A e F1.

Fonte: Gonçalves, Petter e Silva ([201-], p. 4).

O iluminante D65, contempla uma SPD de boa aproximação da luz do dia, com distribuição espectral sobre o UV, a luz visível e as proximidades do infravermelho, conforme solicitado pela CIE, para representar as várias fases da luz do dia, conforme reportado por Silva (2004).

Um corpo pode interferir na luz incidente quando apresenta certa transparência, pois materiais transparentes absorvem e transmitem parcialmente a luz. Neste contexto, surgem três formas diferentes de fenômenos, sendo a absorção, transmitância e reflectância.

McDonald (1997) afirma que a reflectância (R_λ), representa a relação entre raios de luz refletidos pelo objeto e os raios de luz refletidos por uma amostra de branco padrão, identicamente iluminados, para os diversos comprimentos de onda do espectro. Assim sendo, Lopes (2009) descreve que a reflectância representa a fração de luz incidente que não foi absorvida ou transmitida pelo sistema.

Não obstante, este autor elucida o fenômeno da transmitância como a fração da energia transmitida pelo sistema, no entanto, parte da luz transmitida pode atravessar um objeto sem sofrer alterações, enquanto a outra é absorvida pelo meio. Assim, o fenômeno pode ocorrer de forma regular com a absorção não seletiva. Outra forma de transmitância é a difusa não seletiva sem absorção, pois a luz passa pelo meio sofrendo dispersão e parte da luz incidente é refletida.

Na descrição realizada por Kuehni (1975) a absorbância é a capacidade de um objeto absorver os raios luminosos, assim, Silva (2004) redefine que, os raios absorvidos são transformados em calor e para corantes fluorescentes, parte dos raios eletromagnéticos absorvidos pode ser convertido em raios com comprimentos de onda maiores. Assim, por simbologia, o coeficiente de absorbância é representado por (K). Contudo, incrementa-se que Lopes (2009) define o fenômeno da absorção, quando um feixe de radiação transfere energia parcial ou total para o material que está atravessando.

Ainda nesta tangente, dispersão é a capacidade que um determinado objeto possui para alterar a direção dos raios de luz, sendo que, o coeficiente de dispersão é representado por (S), descreve Kuehni (1975).

Nessa abordagem, é sugerido a sensação do brilho, que representa um conjunto de feixes paralelos refletido especularmente, quando uma parcela de luz incidente é refletida de forma especular e a reflexão difusa produz no observador uma sensação de cor.

A relação existente entre as intensidades de radiação incidente e a transmitância associadas ao processo de absorção da luz podem ser definidas em duas leis, sendo:

- A intensidade de luz monocromática transmitida por um corpo homogêneo é proporcional à intensidade de luz incidente, ou seja, $I_t = k \cdot I_o$. Onde, I_o representa a intensidade da luz incidente, I_t , a transmitância e k ...
- A intensidade de luz monocromática transmitida decresce exponencialmente com o aumento da espessura da camada do corpo homogêneo.

Mediante o exposto, dependendo da transmitância e absorbância do meio do comprimento de onda, após percurso de determinada distância pelo meio, parte ou toda luz poderá ser absorvida.

3.3.5. Curvas de distribuição de reflectância espectral

A curva de reflectância (distribuição de reflectância espectral) representa o quanto de energia está sendo refletida pela superfície de um objeto por comprimento de onda do espectro visível, conforme representação gráfica na Figura 10.

Sendo que o eixo das ordenadas X indica os valores dos comprimentos de onda e o eixo das abscissas Y os valores da quantidade de energia, avaliando o parâmetro reflectância de 100% em cada comprimento de onda de um corpo branco ideal.

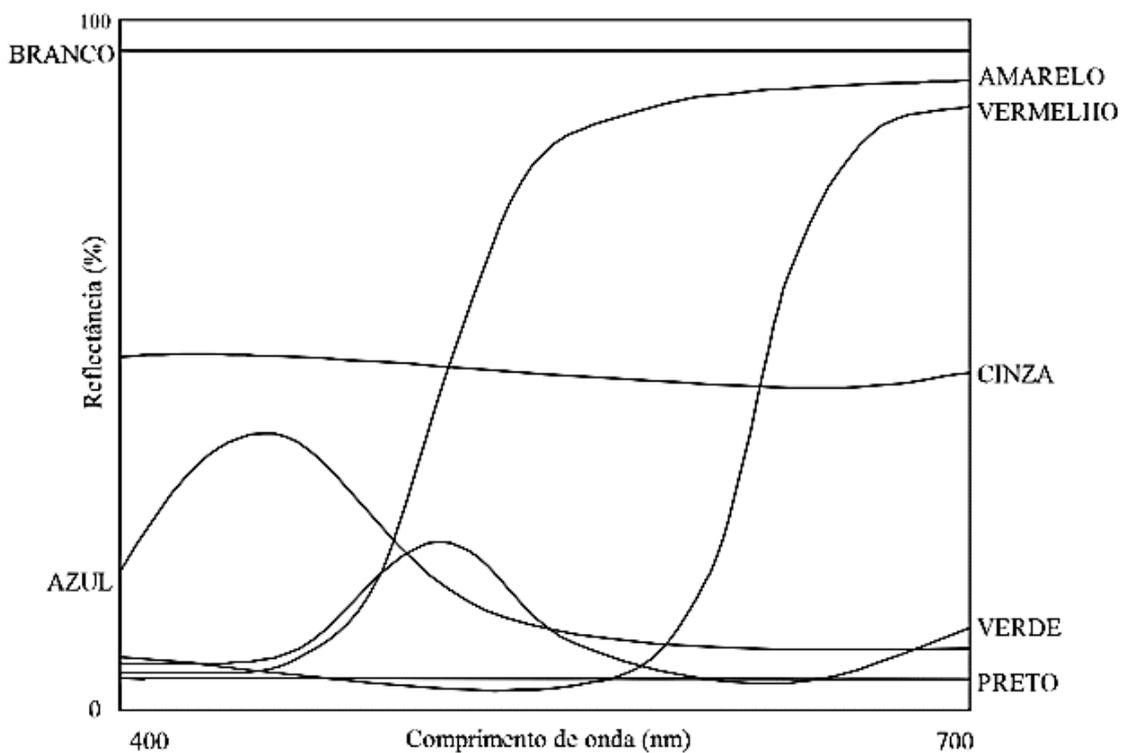


Figura 10. Espectro de reflectâncias de determinados objetos opacos e coloridos, na faixa do comprimento de onda do visível.

Fonte: Billmeyer e Saltzman (1966).

Para todos os efeitos, a curva de reflectância de um determinado objeto de cor branca ideal apresentaria 100% de reflectância em todos os comprimentos de onda, conforme interpretação da figura acima.

Entretanto, na realidade, um objeto com melhor cor branca possível apresenta valor próximo de 100% na faixa de comprimentos de onda visível, como no representado na Figura 11, abaixo.

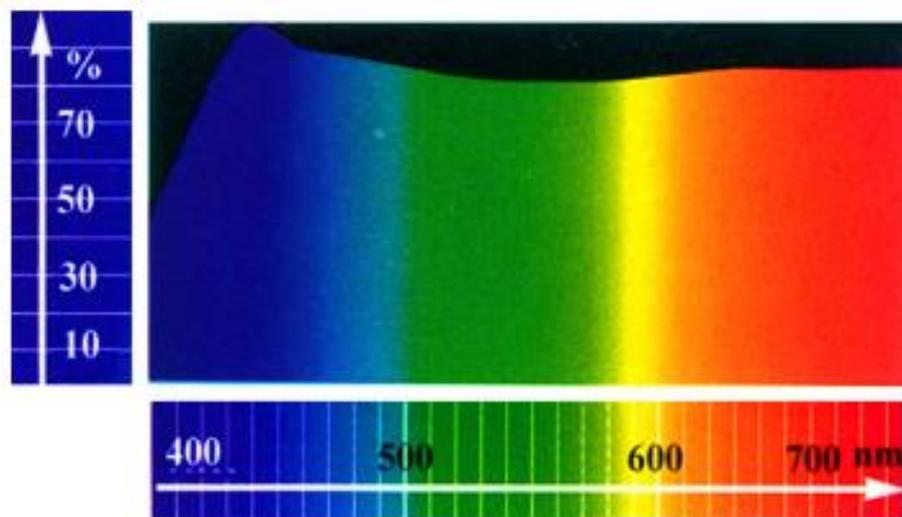


Figura 11. Curva de reflectância de um objeto branco real.
Fonte: Lopes (2009, p. 31).

Na interpretação realizada por Ericksson e Brum (2017), a cor mais escura é representado pelo preto, sendo o resultado da falta parcial ou total da luz. Assim, como outras poucas, a cor preta seria a ausência da luz, por se inserir nas características de uma cor acromática.

De igual teor, um objeto real com a melhor cor preta possível apresenta valores de reflectância próximos de 0%. Na teoria, a curva de reflectância da cor preta (ideal) é de 0% para todos os comprimentos de onda. A seguir, a Figura 12, representa a curva de distribuição espectral para a cor preta real.

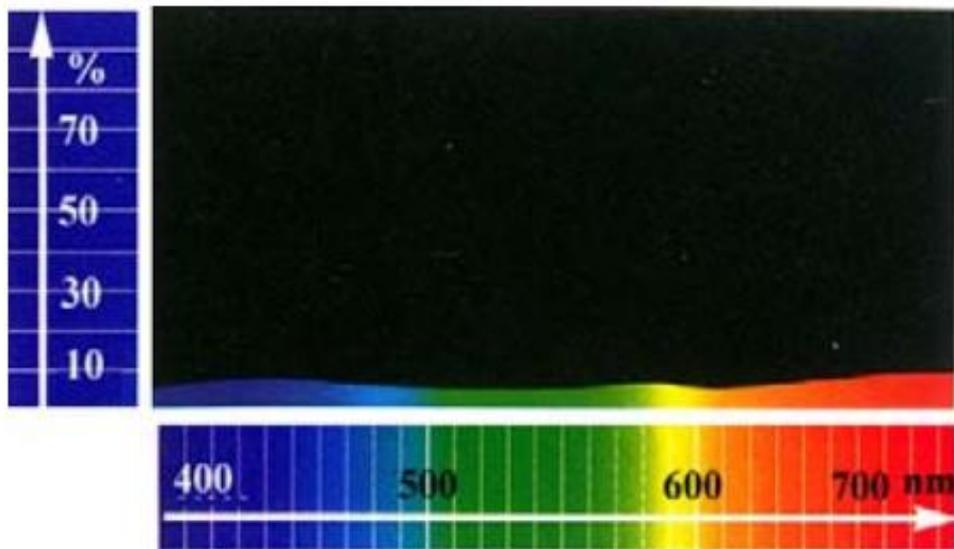


Figura 12. Curva de reflectância de um objeto preto real.
Fonte: Lopes (2009, p. 31).

É importante salientar que, conforme ratificado por Lopes (2009), a iluminação interfere na curva de reflectância, assim, torna-se fundamental explicitar o iluminante utilizado para a obtenção dos resultados avaliados. Desta forma, um determinado pode apresentar alteração de cor, conforme a fonte de luz que está submetido.

Retomando a curva de distribuição espectral, a cor cinza apresenta reflectância de 50%, para qualquer comprimento de onda no visível, como representado na Figura 13.

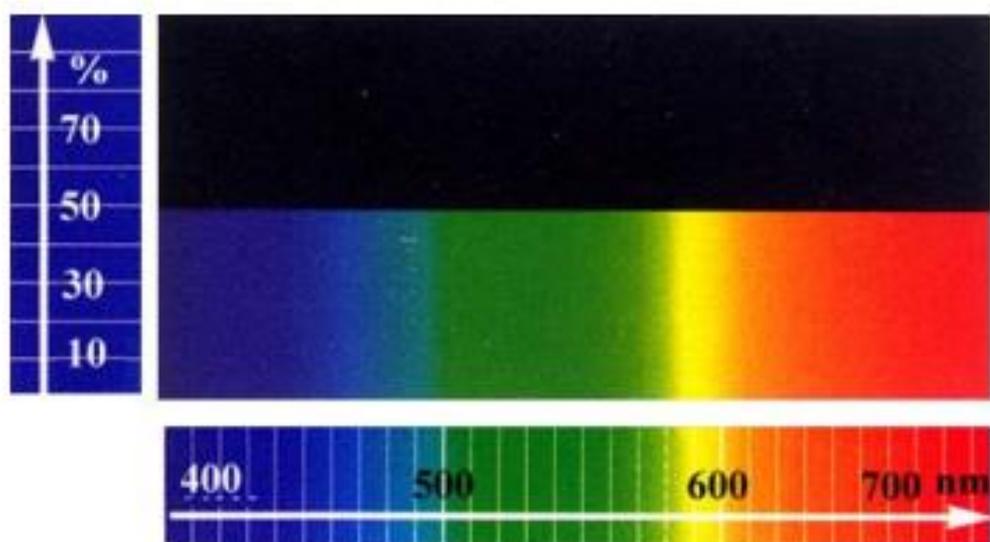
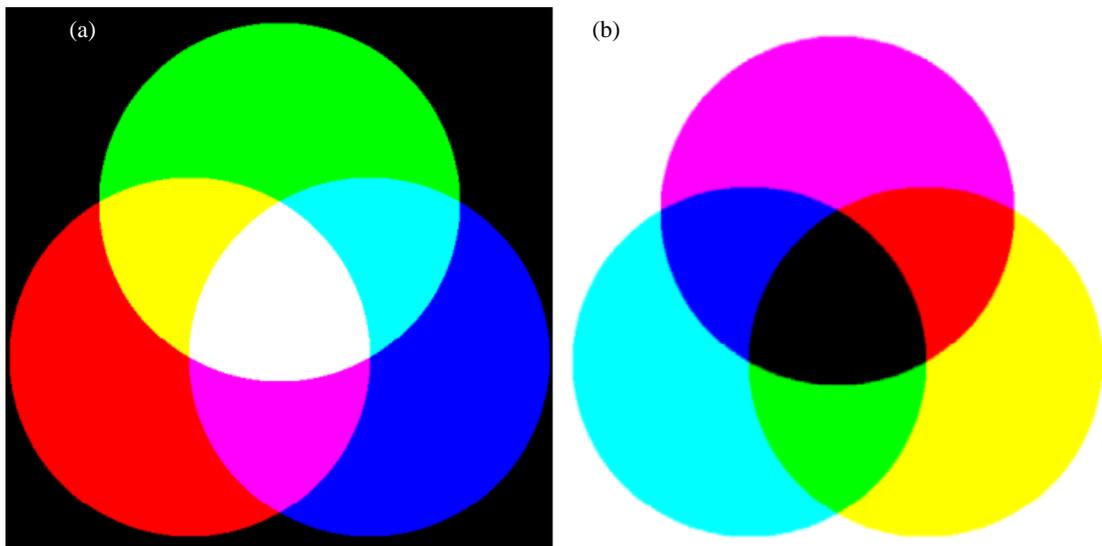


Figura 13. Curva de reflectância de um objeto cinza ideal.
Fonte: Lopes (2009, p. 31).

3.3.6. Curvas de distribuição de reflectância espectral e as relações entre luz, pigmentos e filtros coloridos

Em relação a combinação formada pelas luzes coloridas, pode ocorrer dois formatos diferentes, sendo estes misturas aditivas e mistura subtrativas de cores. Neste contexto, é sabido que as cores primárias da mistura aditiva são o vermelho, o verde e o azul. Assim, na descrição de Silva (2004), esse tipo de mistura acontece com frequência, quando ocorre mistura de luzes projetadas, conforme (a), Figura 14, contendo misturas aditivas.



**Figura 14. Representação da mistura aditiva de cores (a). Mistura subtrativa de cores (b).
Fonte: Adaptado de Silva (2004 *apud* Hirschler, 2002).**

Nessa ordem, segundo o autor, as cores primárias da mistura subtrativa são representadas pelo amarelo, magenta e ciano. A mistura ocorre, frequentemente, quando há sobreposição de filtros ou misturas de pigmentos, assim, se subtrai do branco as cores primárias RGB (*Red; Green; Blue*), sendo estas o vermelho, verde e azul, conforme representada em (b).

A mistura aditiva de cores é a combinação de luzes coloridas percebidas pela visão humana e o diagrama de cromaticidade do sistema CIE, revela os limites de todas as cores visíveis, as quais representam combinações de cores monocromáticas do espectro, conforme ilustrado na Figura 15.

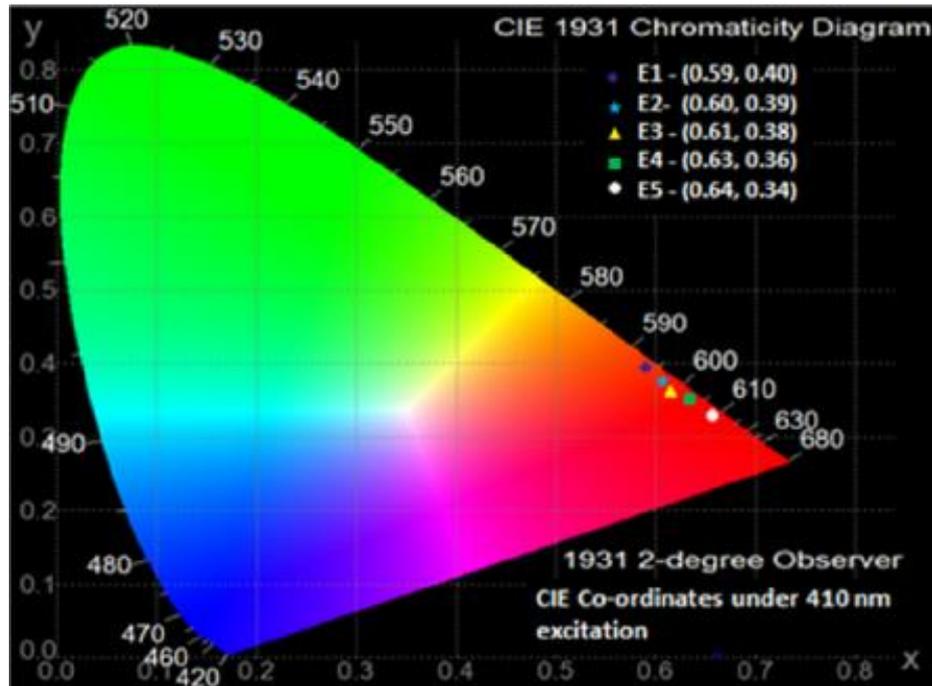


Figura 15. Diagrama de cromaticidade.
Fonte: www.researchgate.net

Contudo, por interpretação, a medição das cores pelo sistema CIE se baseia na viabilidade de matizes de cores a partir das cores primárias e, segundo Silva (2004), a representação gráfica para a cromaticidade com espaço de cores, apresenta um inconveniente, onde as distâncias iguais não correspondem diferenças iguais de cores.

Assim, se o diagrama fosse visualmente uniforme, as linhas de tonalidade constante deveriam ser retas e as cores de croma constante formariam círculos concêntricos, no entanto, esse fato não ocorre. Nesse sentido, o autor elucida que o sistema CIELAB, Figura 16 a seguir, foi desenvolvido para suprir tais necessidades, composto de três eixos.

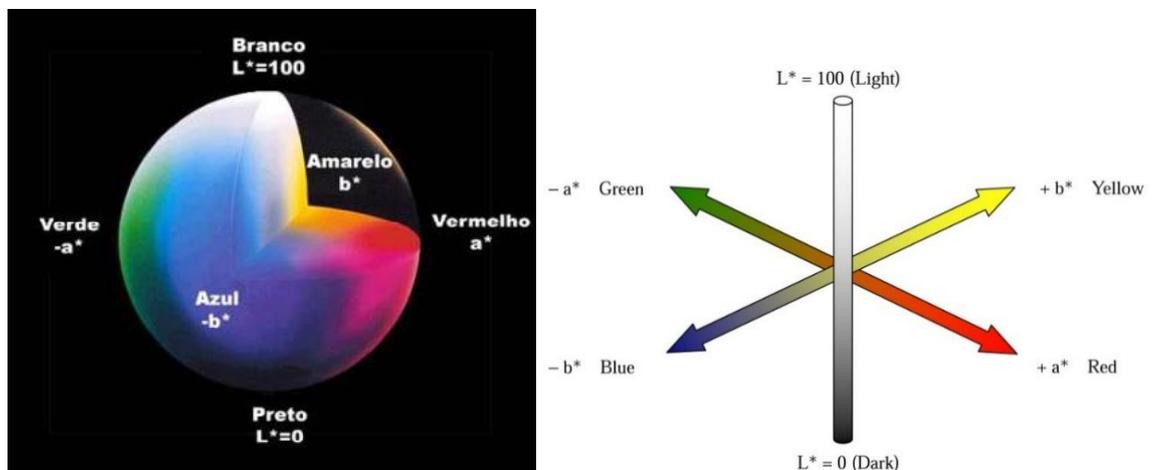


Figura 16. Espaço CIELAB.
Fonte: www.minolta.com

A partir do espectro de reflectância das amostras analisadas, pode-se obter os parâmetros colorimétricos L^* , a^* e b^* determinados pela CIE (*Comission International de l'Eclairage*). Segundo Silva *et al* (2007), esses parâmetros representam os eixos de um diagrama tridimensional.

Seguindo o raciocínio, o eixo a^* sofre variações de $+a$ para $-a$, evoluindo do vermelho ao verde, assumindo valores para cores de objetos reais de, aproximadamente, -170 a $+110$. Em relação ao eixo b^* , o mesmo varia de $+b$ (amarelo) a $-b$ (azul), assumindo valores para cores de objetos reais de cerca de -110 a $+160$, conforme exemplificado na Figura 17, a seguir (a). Desta forma, o eixo vertical (b), representa a variação de luminosidade, transitando entre o zero, para o preto ao cem, para o branco.

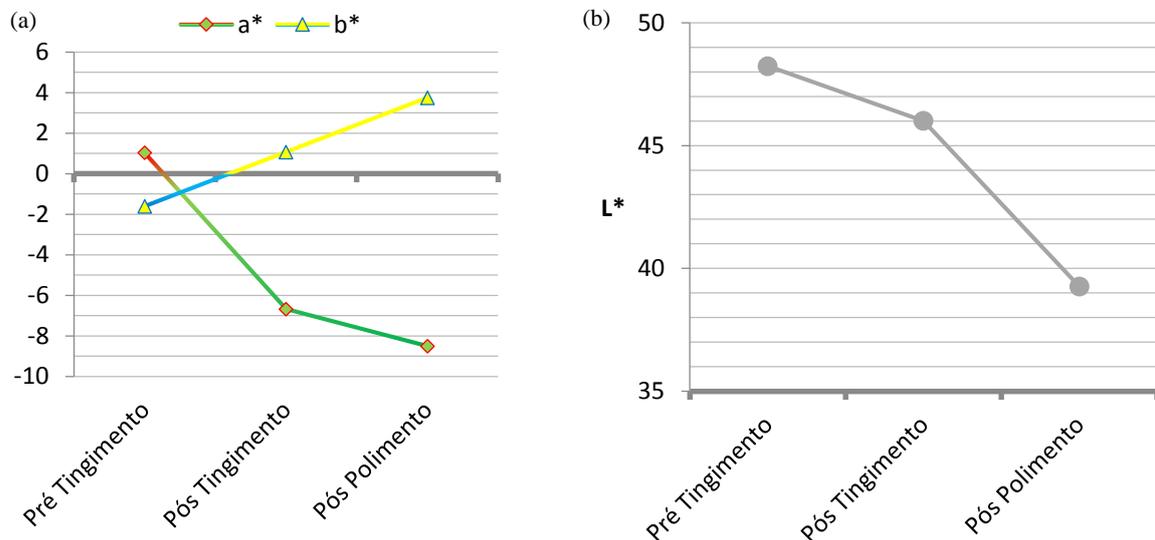


Figura 17. Variações de a^* e b^* , representando a evolução de cores (a). Variação de luminosidade, representado por L^* (b).

Fonte: Ericksson *et al* (2015, p. 144).

Ao avaliar as figuras acima, o índice a^* indica cores vermelhas (valores positivos) e verdes (valores negativos), os valores de b^* representam cores amarelas (positivos) e azuis (negativos) e L^* é uma medida da escala de cinza. Assim, a cor é definida pela combinação destes três parâmetros.

A definição exata das coordenadas CIELAB em função dos valores triestímulos é representada a seguir:

$$L^* = 116 \left[f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) - 16 \right] \quad \text{Eq. [1]}$$

$$a^* = 500[f (X/X_n) - f (Y/Y_n)] \quad \text{Eq. [2]}$$

$$b^* = 200[f (Y/Y_n) - f (Z/Z_n)] \quad \text{Eq. [3]}$$

onde:

$$f (X/X_n) = (X/X_n)^{1/3} \text{ para } X/X_n > 0,008856 \quad \text{Eq. [4]}$$

ou $7,787(X/X_n) + 16/116$, caso contrário,

$$f (Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3} \text{ para } Y/Y_n > 0,008856 \quad \text{Eq. [5]}$$

ou $7,787(Y/Y_n) + 16/116$, caso contrário,

$$f (Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3} \text{ para } Z/Z_n > 0,008856 \quad \text{Eq. [6]}$$

ou $7,787(Z/Z_n) + 16/116$, caso contrário, a diferença de cor entre dois estímulos (padrão e amostra), pode ser quantificada no diagrama $L^* a^* b^*$, sabendo que:

$$*\Delta L = L_{amostra} - L_{padrão} \quad \text{Eq. [7]}$$

$$*\Delta a = a^*_{amostra} - a^*_{padrão} \quad \text{Eq. [8]}$$

$$*\Delta b = b^*_{amostra} - b^*_{padrão} \quad \text{Eq. [9]}$$

Entretanto, a distância entre duas posições pode ser definida por:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{Eq. [10]})$$

Conforme Lopes (2009), na subtração da cor azul do branco, utilizando filtro ou pigmento, se obtém o amarelo. Em contrapartida, ao se retirar a cor branca, via pigmento ou filtro, o vermelho resulta no ciano e ao se utilizar os dois filtros, o resultado pode ser constatado na Figura 18, a seguir, quando os espectros azul e vermelho são filtrados.

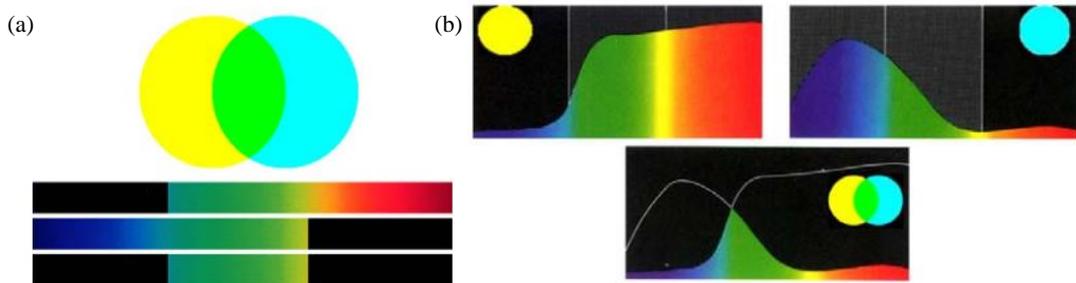


Figura 18. Sistema subtrativo obtida quando os espectros azul e vermelho são filtrados (a). Curvas de reflectância para o amarelo, ciano e verde (b).

Fonte: Adaptado de Lopes (2009, p. 33).

Na mesma analogia, segue o raciocínio ao subtrair do branco a cor azul, resultando assim, no amarelo, com uso de filtro ou pigmento. Assim como, ao remover o verde do branco, resulta na cor magenta e ambas removidas, se obtém o vermelho, conforme ilustração (a) da figura abaixo. Considerando que, a sobreposição das curvas de reflectância da cor magenta e amarela, resultam na curva de distribuição espectral do vermelho (b), da Figura 19.

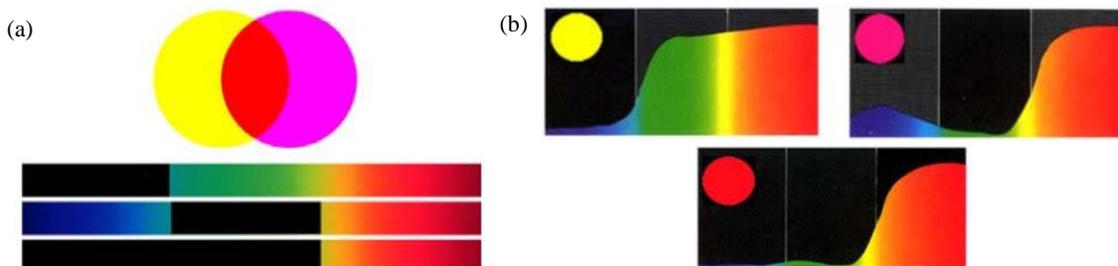


Figura 19. Sistema subtrativo obtida quando os espectros azul e verde são filtrados (a). Curvas de reflectância para o amarelo, magenta e vermelho (b).

Fonte: Adaptado de Lopes (2009, p. 34).

Utilizando filtro ou pigmento, ao subtrair do branco a cor vermelha, o resultado é o ciano. O mesmo ocorre quando subtrai o verde, resultando assim, no magenta. Quando ambas as cores são subtraídas, se obtém o azul, conforme pode ser observado na ilustração (a) da Figura 20, a seguir. E, na sobreposição das curvas de reflectância (b), se obtém a distribuição espectral do azul.

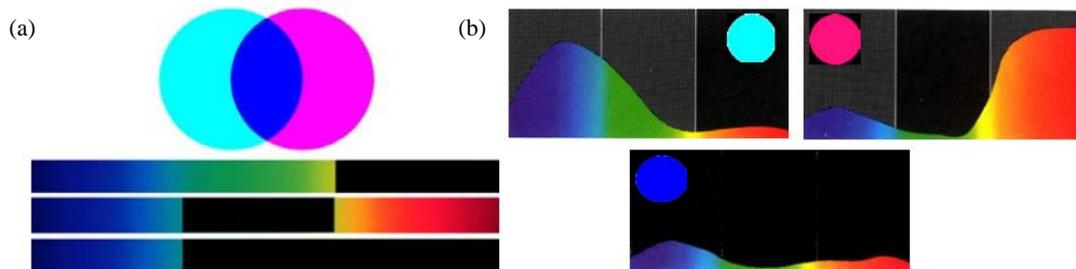


Figura 20. Sistema subtrativo obtida quando os espectros verde e vermelho são filtrados (a). Curvas de reflectância para o ciano, magenta e azul (b).

Fonte: Adaptado de Lopes (2009, p. 35).

Assim, pode ser observado na representação gráfica da Figura 21 a seguir, os valores de reflectância para cada comprimento de onda de amostras em diversas cores, dentro do espectro visível.

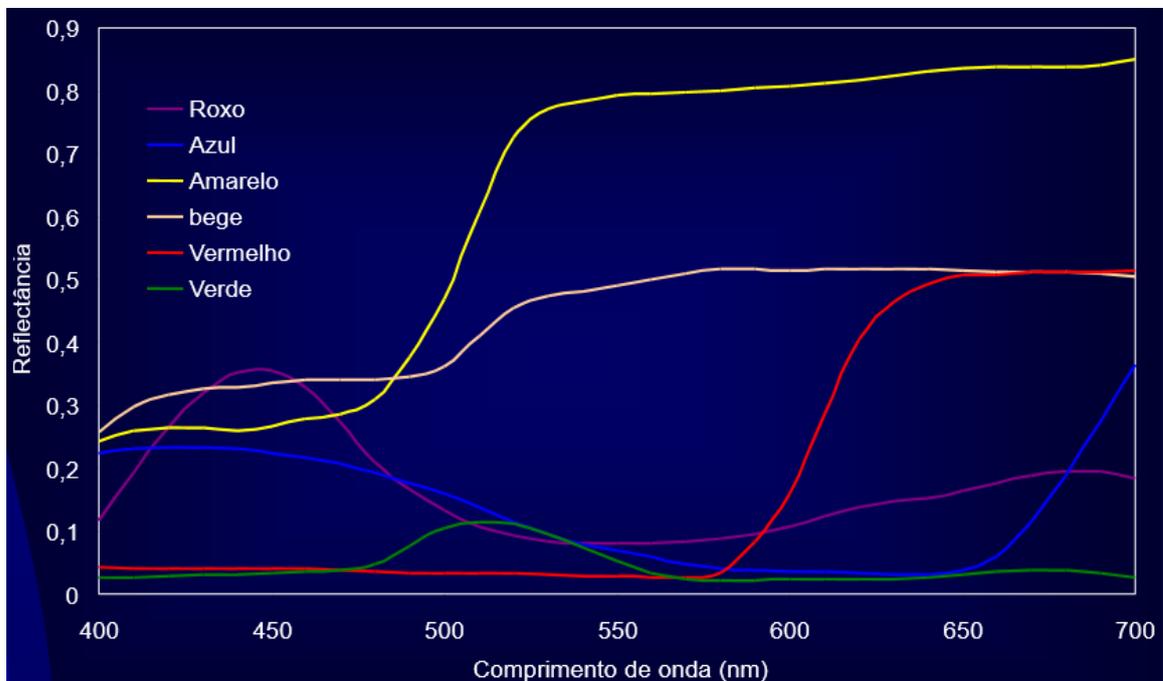


Figura 21. Espectro de cores, reflectância em função do comprimento de onda para as cores roxa, azul, amarelo, bege, vermelho e verde.

Fonte: anotações de aula, Prof. Petter – Laprom (2016).

3.4. COR EM UMA ABORDAGEM PARA AS GEMAS

Conforme analogia de Schumann (1985), pode-se interpretar que a cor é o resultado produzido pela vibração magnética de determinados comprimentos de onda. Porém, na percepção do olho humano, ocorre a detecção de comprimentos de onda em torno de 4000Å a 7000Å. Desta forma, a cor real medida em equipamentos específicos é diferente da cor percebida pelo olho humano, pois a cor se torna uma sensação na percepção humana.

Segundo algumas concepções, a cor é considerada a característica mais importante de uma gema, porém, não se identifica como um diagnóstico para identificação das mesmas, levando em consideração a variedades de cores e classificação existentes.

Assim, a coloração artificial da ágata depende da introdução nas suas partes porosas em substâncias que as tornam coloridas por efeito de reação química ou deposição, reporta Ericksson *et al* (2015). Considerando também, que as ágatas, de modo geral, são constituídas por finíssimas camadas justapostas de sílica formando camadas ou listas variadas. Algumas dessas listas são pouco porosas e por isso não absorvem as substâncias. O lapidador denomina as listas menos porosas da ágata como "duras " e as mais porosas, de fácil coloração como "moles". (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEMOLOGIA, 1957, p. 2).

Quando determinados metais estão presentes na composição das gemas, principalmente o cromo, o ferro, o cobalto, o cobre, o manganês, o níquel e o vanádio, absorvem certos comprimentos de onda da luz branca e assim podem causar a coloração. Algumas vezes estas substâncias aparecem na gema em quantidades tão pequenas que elas não são identificadas na fórmula química do mineral. No caso do zircão e quartzo esfumado nenhuma substância estranha é responsável pela cor; ela é causada pela deformação da estrutura interna (retículo) e é produzida por raios de onda curta da atmosfera (raios ultravioleta) resultando em uma absorção seletiva. (Schumann, 1985, p.27).

Nesta analogia, determinadas gemas podem apresentar variações de cor, inclusive dentro do mesmo grupo de classificação, com raras exceções. Porém, também ocorre a identificação de gemas incolores. Contudo, a cor verdadeira pode ser nominada por cor inerente (Schumann, 1985). Assim, as gemas podem passar por processos térmicos, físicos e químicos ou um conjunto desses, para alterar ou salientar a coloração, além é claro, de outros processos disponibilizados pela tecnologia.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. PREPARO DAS AMOSTRAS E ORGANIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS:

Os geodos de ágatas utilizados foram de diferentes formatos e oriundas de lavras diversas, sendo adquiridos em empresas locais na região norte do RS. Estes geodos foram laminados em serra poli corte para fornecer amostras com as características necessárias, no formato de chapas, com espessuras que variam, em média, de 3 a 5 milímetros.

Após o corte, as amostras foram submetidas ao processo de lavagem em solução de detergente, visando a remoção do óleo residual da serra poli corte.

A amostragem foi realizada a partir de uma classificação prévia de ágatas laminadas, sendo adotado a nomenclatura usual, empregada pelo segmento mineral local. Assim, as amostras de gemas foram classificadas em quatro categorias distintas, nominadas como ágata “vidrada”, ágata de “massa”, ágata “com sal” e ágata “bandada”.

O critério base para tal classificação é a predominância da característica principal da categoria em foco, podendo estar seguida ou não das secundárias, em uma mesma amostra de ágata. Ou seja, uma amostra de ágata com sal, apresenta predominantemente esta característica, mas pode apresentar também porções com bandas, por exemplo. No entanto, será avaliado somente a porção de sal, sendo desnecessário submeter a chapa novamente ao corte para confeccionar amostra exclusiva de ágata com sal.

A característica principal é classificada nas quatro categorias descritas anteriormente. Assim, a bandada caracteriza-se por contemplar amostras de ágatas com bandeamento, de formas concêntricas e/ou paralelas. Amostras da categoria vidrada, caracterizam-se pela predominância de brilho vítreo em função da alta quantidade de quartzo a nível macroscópico, com transparência que varia do semitransparente ao translúcido. As amostras de massa são em geral, com maior opacidade, apresentando baixa transparência e aspecto leitoso. As amostras da categoria sal, apresentam macro cristais de quartzo, no geral com má formação ou incompletos.

A seleção das amostras ocorre de forma a não ser considerada a origem destas pela lavra, sendo utilizadas na pesquisa ágatas de diversas lavras e de regiões distintas do estado do Rio Grande do Sul.

Cada amostra de ágata recebe uma numeração, com gravação a *laser*, para identificação da categoria e demarcação espacial da face superficial para ser medido o comprimento de onda, por um círculo com diâmetro de 6 mm, conforme Figura 22.



Figura 22. Amostra de ágata, com identificação em laser no ponto a ser avaliado. 13M1 – Amostras 13, da categoria massa, ponto avaliado 1. 13M2 – Amostra 13, categoria massa, ponto avaliado 2.

Fonte: autora (2016).

Posteriormente, ocorre a confecção de máscaras para cada uma das amostras produzidas, replicando o ponto para as medidas de comprimento de onda, sendo estes a circunferência de 6 mm, conforme pode ser visualizado na Figura 23, a seguir.



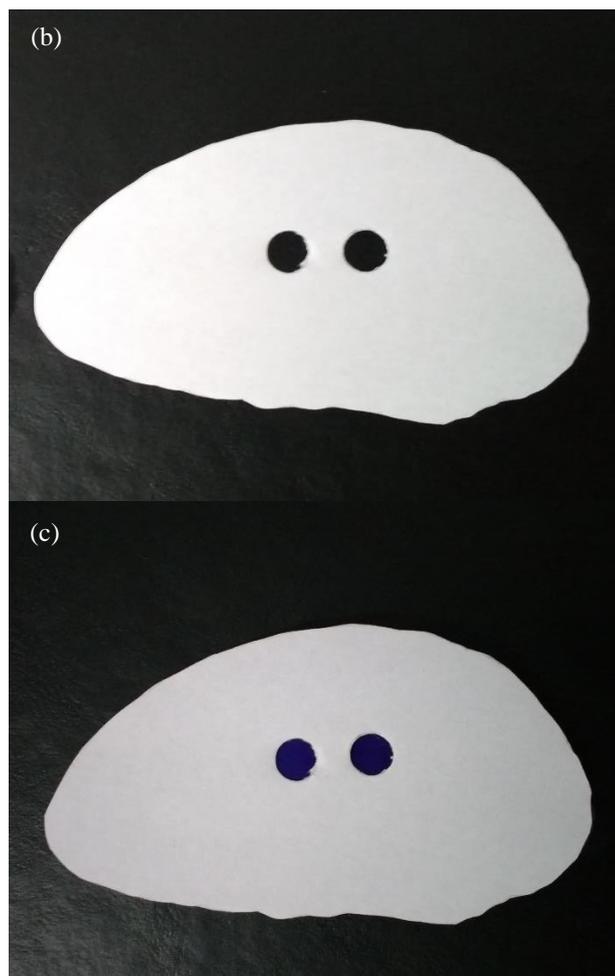


Figura 23. Amostra de ágata (a). Máscara para a amostra (b). Máscara sobre a amostra (c).

As máscaras para as amostras foram confeccionadas, tendo em vista que após o polimento, existe a possibilidade de desaparecer a marcação a *laser* de algumas peças. Desta forma, seria fundamental preservar o ponto de leitura no espectrofotômetro, que é avaliado antes do tingimento, após o tratamento e após o polimento destas peças.

Em seguida, foram formados grupos (conjuntos) de amostras, sendo que cada um destes é composto por uma amostra de ágata da categoria vidrada, bandada, de sal e de massa, totalizando 4 amostras por conjunto, conforme observado na Figura 24. Para cada amostra, foi marcado dois pontos de medidas, para avaliação em duplicata do comportamento da ágata.



Figura 24. Classificação em grupos de ágatas, com 4 amostras diferentes para recebimento de coloração artificial. Cada conjunto contém uma amostra de água da categoria vidrada, bandada, de sal e de massa.

Fonte: autora (2016).

Nas tabelas subsequentes (Tabela 3 a 9), é possível identificar todas as amostras usadas para o estudo de caso da presente pesquisa, as marcações, a categoria e processo de coloração artificial em que foram submetidas.

Tabela 3. Informações das amostras submetidas ao tingimento em preto.

Coloração Artificial	Amostras		
	Categoria	Quantidade de chapas/amostras	Pontos avaliados Identificação (<i>laser</i>)
Preto (tingimento comercial)	Vidrada	1	1V1, 1V2
	Bandada	1	1B1, 1B2
	Sal	1	1S1, 1S2
	Massa	1	1M1, 1M2
Preto (Padronização)	Vidrada	5	1, 2, 3, 4, 5
	Bandada	5	81, 82, 83, 84, 85
	Sal	5	41, 42, 43, 44, 45
	Massa	5	121, 122, 123, 124, 125
Preto (Concentração 1)	Vidrada	1	1V1, 1V2
	Bandada	1	1B1, 1B2
	Sal	1	1S1, 1S2
	Massa	1	1M1, 1M2

Preto (Concentração 2)	Vidrada	1	2V1, 2V2
	Bandada	1	2B1, 2B2
	Sal	1	2S1, 2S2
	Massa	1	2M1, 2M2
Preto (Concentração 3)	Vidrada	1	4V1, 4V2
	Bandada	1	4B1, 4B2
	Sal	1	4S1, 4S2

Tabela 4. Informações das amostras submetidas ao tingimento em vermelho.

Coloração Artificial	Amostras		
	Categoria	Quantidade de chapas/amostras	Pontos avaliados Identificação (<i>laser</i>)
Vermelho (tingimento comercial)	Vidrada	1	2V1,2V2
	Bandada	1	2B1, 2B2
	Sal	1	2S1, 2S2
	Massa	1	2M1, 2M2
Vermelho (Padronização)	Vidrada	5	16, 17, 18, 19, 20
	Bandada	5	91, 92, 93, 94, 95
	Sal	5	51, 52, 53, 54, 55
	Massa	5	131, 132, 133, 134, 135
Vermelho (Concentração 1)	Vidrada	1	9V1, 9V2
	Bandada	1	9B1, 9B2
	Sal	1	9S1, 9S2
	Massa	1	9M1, 9M2
Vermelho (Concentração 2)	Vidrada	1	10V1, 10V2
	Bandada	1	10B1, 10B2
	Sal	1	10S1, 10S2
	Massa	1	10M1, 10M2
Vermelho (Concentração 3)	Vidrada	1	8V1, 8V2
	Bandada	1	8B1, 8B2
	Sal	1	8S1, 8S2
	Massa	1	8M1, 8M2

Tabela 5. Informações das amostras submetidas ao tingimento em azul.

Coloração Artificial	Amostras		
	Categoria	Quantidade de chapas/amostras	Pontos avaliados Identificação (<i>laser</i>)
Azul (tingimento comercial)	Vidrada	1	3V1, 3V2
	Bandada	1	3B1, 3B2,
	Sal	1	3S1, 3S2
	Massa	1	3M1, 3M2
Azul (Padronização)	Vidrada	5	11, 12, 13, 14, 15
	Bandada	5	86, 87, 88, 89, 90
	Sal	5	46, 47, 48, 49, 50
	Massa	5	126, 127, 128, 19, 130
Azul (Concentração 1)	Vidrada	1	11V1, 11V2
	Bandada	1	11B1, 11B2
	Sal	1	11S1, 11S2
	Massa	1	11M1, 11M2
Azul (Concentração 2)	Vidrada	1	12V1, 12V2
	Bandada	1	12B1, 12B2
	Sal	1	12S1, 12S2
	Massa	1	12M1, 12M2
Azul (Concentração 3)	Vidrada	1	13V1, 13V1
	Bandada	1	13B2, 13B2
	Sal	1	13S1, 13S2
	Massa	1	13M1, 13M2

Tabela 6. Informações das amostras submetidas ao tingimento em verde.

Coloração Artificial	Amostras		
	Categoria	Quantidade de chapas/amostras	Pontos avaliados Identificação (<i>laser</i>)
Verde (tingimento comercial)	Vidrada	1	4V1, 4V2
	Bandada	1	4B1, 4B2
	Sal	1	4S1, 4S2
	Massa	1	4M1, 4M2
Verde (Padronização)	Vidrada	5	21, 22, 23, 24, 25
	Bandada	5	96, 97, 98, 99, 100
	Sal	5	61, 62, 63, 64, 65
	Massa	5	136, 137, 138, 139, 140
Verde (Concentração 1)	Vidrada	1	14V1, 14V2
	Bandada	1	14B1, 14B2
	Sal	1	14S1, 14S2
	Massa	1	14M1, 14M2
Verde (Concentração 2)	Vidrada	1	15V1, 15V2
	Bandada	1	15B1, 15B2
	Sal	1	15S1, 15S2
	Massa	1	15M1, 15M2
Verde (Concentração 3)	Vidrada	1	16V1, 16V2
	Bandada	1	16B1, 16B2
	Sal	1	16S1, 16S2
	Massa	1	16M1, 16M2

Tabela 7. Informações das amostras submetidas ao tingimento em rosa, com corante orgânico.

Coloração Artificial com corante orgânico	Amostras		
	Categoria	Quantidade de chapas/amostras	Pontos avaliados Identificação (<i>laser</i>)
Rosa (Tingimento comercial)	Vidrada	1	114V1, 114V2
	Bandada	1	114B1, 114B2
	Sal	1	114S1, 114S2
	Massa	1	114M1, 114M2
Rosa (Padronização)	Vidrada	5	SI
	Bandada	5	SI
	Sal	5	SI
	Massa	5	SI
Rosa (Concentração 1)	Vidrada	1	17V1, 17V2
	Bandada	1	17B1, 17B2
	Sal	1	17S1, 17S2
	Massa	1	17M1, 17M2
Rosa (Concentração 2)	Vidrada	1	18V1, 18V2
	Bandada	1	18B1, 18B2
	Sal	1	18S1, 18S2
	Massa	1	18M1, 18M2
Rosa (Concentração 3)	Vidrada	1	19V1, 19V2
	Bandada	1	19B1, 19B2
	Sal	1	19S1, 19S2
	Massa	1	19M1, 19M2
Rosa (Concentração 4)	Vidrada	1	5V1, 5V2
	Bandada	1	5B1, 5B2
	Sal	1	5S1, 5S2
	Massa	1	5M1, 5M2
Rosa (Concentração 5)	Vidrada	1	110V1, 110V2
	Bandada	1	110B1, 110B2
	Sal	1	110S1, 110S2
	Massa	1	110M1, 110M2

SI – Sem identificação

Tabela 8. Informações das amostras submetidas ao tingimento em verde, com corante orgânico.

Coloração Artificial com corante orgânico	Amostras		
	Categoria	Quantidade de chapas/amostras	Pontos avaliados Identificação (<i>laser</i>)
Verde (tingimento comercial)	Vidrada	1	117V1, 117V2
	Bandada	1	117B1, 117B2
	Sal	1	117S1, 117S2
	Massa	1	117M1, 117M2
Verde (Padronização)	Vidrada	5	SI
	Bandada	5	SI
	Sal	5	SI
	Massa	5	SI
Verde (Concentração 1)	Vidrada	1	20V1, 20V2
	Bandada	1	20B1, 20B2
	Sal	1	20S1, 20S2
	Massa	1	20M1, 20M2
Verde (Concentração 2)	Vidrada	1	21V1, 21V2
	Bandada	1	21B1, 21B2
	Sal	1	21S1, 21S2
	Massa	1	21M1, 21M2
Verde (Concentração 3)	Vidrada	1	22V1, 22V2
	Bandada	1	22B1, 22B2
	Sal	1	22S1, 22S2
	Massa	1	22M1, 22M2
Verde (Concentração 4)	Vidrada	1	7V1, 7V2
	Bandada	1	7B1, 7B2
	Sal	1	7S1, 7S2
	Massa	1	7M1, 7M2
Verde (Concentração 5)	Vidrada	1	111V1, 111V2
	Bandada	1	111B1, 111B2
	Sal	1	111S1, 111S2
	Massa	1	111M1, 111M2

SI – Sem identificação.

Tabela 9. Informações das amostras submetidas ao tingimento em roxo, com corante orgânico.

Coloração Artificial com corante orgânico	Amostras		
	Categoria	Quantidade de chapas/amostras	Pontos avaliados Identificação (<i>laser</i>)
Violeta (tingimento comercial)	Vidrada	1	115V1, 115V2
	Bandada	1	115B1, 115B2
	Sal	1	115S1, 115S2
	Massa	1	115M1, 115M2
Violeta (Padronização)	Vidrada	5	SI
	Bandada	5	SI
	Sal	5	SI
	Massa	5	SI
Violeta (Concentração 1)	Vidrada	1	23V1, 23V2
	Bandada	1	23B1, 23B2
	Sal	1	23S1, 23S2
	Massa	1	23M1, 23M2
Violeta (Concentração 2)	Vidrada	1	24V1, 24V2
	Bandada	1	24B1, 24B2
	Sal	1	24S1, 24S2
	Massa	1	24M1, 24M2
Violeta (Concentração 3)	Vidrada	1	25V1, 25V2
	Bandada	1	25B1, 25B2
	Sal	1	25S1, 25S2
	Massa	1	25M1, 25M2
Violeta (Concentração 4)	Vidrada	1	6V1, 6V1
	Bandada	1	6B1, 6B2
	Sal	1	6S1, 6S2
	Massa	1	6M1, 6M2
Violeta (Concentração 5)	Vidrada	1	112V1, 112V2
	Bandada	1	112B1, 112B2
	Sal	1	112S1, 112S2
	Massa	1	112M1, 112M2

SI – Sem identificação.

4.2. REPLICAÇÃO DO SISTEMA DE TINGIMENTO

Durante o acompanhamento do tingimento convencional, foram verificadas diferentes formulações, passadas verbalmente durante a pesquisa *in situ*, sem comprovação documental das quantidades de reagentes, ratificando a forte influência do conhecimento empírico. Neste sentido, a etapa de replicação dos sistemas de tingimento foi indispensável, tendo em vista a necessidade de verificar as informações obtidas neste período e dirimir incongruências.

Nesta etapa, foram replicadas as sete cores, sendo três com corantes orgânicos, como o verde, rosa e roxo e quatro com ácidos inorgânicos, obtendo as cores azul, vermelho, preto e verde.

A replicação balizou-se na determinação de reagentes específicos e concentrações a serem usadas, tendo em vista que os dados obtidos nos locais de tingimento apresentavam informações divergentes. Também se tinha a preocupação de redefinir os tempos de aquecimentos dos sistemas termoquímicos.

Para a coloração artificial em preto, foram testados reagentes puros analíticos (P. A.) como sacarose e glicose, além de açúcar comum disponível em qualquer segmento comercial alimentício.

Ao replicar a coloração azul, foram testados o composto de ferrocianeto de potássio ($K_4Fe(CN)_{6(s)}$) e o ferricianeto de potássio ($K_3Fe(CN)_{6(s)}$), considerando informações incongruentes dos empreendimentos pesquisados.

Em relação a coloração verde, a partir de ácidos inorgânicos, foram testados óxidos de cromo hexa e trivalente, além da determinação de concentrações dos reagentes utilizados. Nenhum dos empreendimentos pesquisados tinha conhecimento acerca do estado de oxidação do cromo presente em suas soluções tingidoras, tampouco que estas continham cromo.

Para as demais cores, foram utilizados reagentes puros analíticos (P. A.), quando aplicável, considerando a qualidade, dados para cálculos, informações químicas de procedência e confiabilidade nos resultados.

Os reagentes usados no tingimento das amostras estão descritos durante a metodologia aplicada para cada cor otimizada.

4.3. PADRONIZAÇÃO - DETERMINAÇÃO DA FÓRMULA PADRÃO

A partir da replicação foi possível delinear propriedades relevantes para a padronização do tingimento, com a elaboração de uma fórmula padrão para cada uma das sete cores.

Inicialmente se viabilizou, a padronização dos processos e métodos de tingimento em gemas, por meios quantitativos e qualitativos, além da redução de energia fornecida ao processo para as cores obtidas com reagentes ácidos inorgânicos.

Para cada uma das sete cores foi elaborado procedimento operacional padrão (POP) com descrição de reagentes, concentração, equipamentos, EPIs e método do processo, os quais não fazem parte do corpo do trabalho por questões de volume excessivo. A seguir, descreve-se de forma sucinta o tratamento aplicado às gemas para cada uma das cores padronizadas.

4.3.1. Tingimento em preto

Para a amostragem, foram usadas 20 (vinte) amostras de lâminas de ágatas, sendo selecionadas 5 (cinco) amostras de cada categoria (vidrada, bandada, sal e massa). As amostras receberam gravações a *laser*, contendo o código de identificação e ponto referência para medição do comprimento de onda. Tais códigos são discriminados pelas numerações 1, 2, 4, 5 e 6 (para 5 amostragens de vidrada), 81, 82, 83, 84 e 85 (para 5 amostragens de bandas), 41, 42, 43, 44 e 45 (para 5 amostragens de sal) e 121, 122, 123, 124 e 125 (para 5 amostragens de massa).

Para esta fase do tingimento, utilizou-se açúcar refinado comercial fundido e água, em proporção de 1:1, respectivamente. As amostras foram dispostas em camadas dentro de béquer de 5 litros em total imersão na solução de açúcar, por um período de 168 horas à temperatura ambiente, sem nenhum aquecimento artificial.

Transcorridos o período, as amostras são retiradas da imersão, lavadas em quantidade reduzida de água e a solução tingidora passa a ser armazenada em recipiente fechado e identificado.

Em capela de exaustão, dispõem-se novamente as amostras em béquer de cinco litros, adicionando sobre estas, ácido sulfúrico concentrado ($H_2SO_{4(conc)}$). As ágatas permanecem por 96 horas, em imersão no ácido, em condições ambiente, ou seja, sem aquecimento do sistema.

Transcorrido o período, as amostras são retidas da imersão, lavadas em quantidade reduzida e controlada de água, sendo acondicionadas em forma metálica para posterior

aquecimento, coloquialmente denominado por “queima”. O ácido remanescente é devidamente armazenado em recipiente identificado e fechado, para posterior uso.

As amostras de ágatas são dispostas em camadas intercaladas com areia e após a última camada de ágatas, foi acrescida nova camada de areia de modo a manter todas as amostras plenamente recobertas.

Posteriormente, segue-se com aquecimento em forno mufla, por um período de 10 horas a temperatura de 200° C. Após o tempo, aguarda-se o resfriamento do sistema e remove-se as amostras da areia, limpas a seco, embaladas com papel toalha e acondicionadas ao abrigo da luz.

Para a amostragem, foram usadas 20 (vinte) amostras de lâminas de ágatas, sendo selecionadas 5 (cinco) amostras de cada categoria (vidrada, bandada, sal e massa). As amostras receberam gravações a laser, contendo o código de identificação e ponto referência para medição do comprimento de onda. Assim, todas as amostras utilizadas, seus respectivos códigos e numerações, estão descritas nas Tabelas 3 a 9.

4.3.2. Tingimento em vermelho

Para esta fase do tingimento, em capela de exaustão, se preparou a solução aquosa de cloreto férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}$) a 2,6 mol.L⁻¹. Em seguida, preparou-se separadamente, 500 mL de solução a 42% de ácido nítrico (HNO_3), sendo utilizado reagente puro analítico (P. A.). Após o preparo das duas soluções, ocorreu a mistura destas e adição de 50,0 gramas de ferro metálico ($\text{Fe}_{(\text{s})}$).

As amostras foram acondicionadas, ficando sob total imersão na solução tingidora, por um período de 168 horas à temperatura ambiente. Transcorridos o período, as amostras foram retiradas da imersão, lavadas em quantidade mínima e reduzida de água, sendo a solução tingidora armazenada em recipiente fechado e identificado.

As amostras de ágatas foram dispostas em camadas intercaladas com areia e após a última camada de ágatas, foi acrescida nova camada de areia de modo a manter as amostras plenamente cobertas. Posteriormente, seguiu-se com aquecimento em forno mufla, por um período de 10 horas a temperatura de 240° C.

Após o tempo, aguardou-se o resfriamento do sistema e removeu-se as amostras da areia, limpas a seco, embaladas com papel toalha e acondicionadas ao abrigo da luz, finalizando o processo.

4.3.3. Tingimento em azul

Em capela de exaustão, ocorre o preparo da solução aquosa de ferricianeto de potássio ($K_3Fe(CN)_{6(aq)}$) a 0,7 molar. As amostras são colocadas em imersão nesta solução por 168 horas, em temperatura ambiente. Após, são removidas do sistema e lavadas em quantidade mínima de água.

Na etapa subsequente, as peças amostradas foram inseridas em ácido sulfúrico concentrado ($H_2SO_{4\ conc}$), sendo este um reagente puro analítico (P. A.), por 24 horas em temperatura ambiente. Posteriormente, são removidas e lavadas em quantidade reduzida de água, a qual é armazenada para futuro tratamento e proposta de reciclo. Seguindo para a etapa subsequente, as peças foram fervidas em água por 4h a $60^\circ C$.

Na última etapa, as amostras de ágatas foram dispostas em camadas intercaladas com areia, seguindo com aquecimento em forno mufla, por um período de 2 horas a temperatura de $50^\circ C$. Após o tempo, aguardou-se o resfriamento do sistema e removeu-se as amostras da areia, sendo limpas a seco, embaladas com papel toalha e acondicionadas ao abrigo da luz.

4.3.4. Tingimento em verde

Em capela de exaustão, foram preparadas, individualmente, a solução aquosa de óxido crômico ($CrO_{3(aq)}$) a 3,5 M e a solução aquosa de cloreto de amônio ($NH_4Cl_{(aq)}$) a 6,2 M, sendo ambas misturadas em seguida, obedecendo a relação de volume com 40 partes de óxido e 60 partes de sal de amônio, formando a solução tingidora para a coloração artificial verde.

As amostras ficaram em imersão nesta solução, por um período de 168 horas à temperatura ambiente, sem aquecimento. Transcorridos o período, as amostras foram retiradas da imersão, lavadas em quantidade mínima de água e a solução tingidora foi armazenada em recipiente fechado e identificado.

As amostras de ágatas foram dispostas em camadas intercaladas com areia e após a última camada de ágatas, foi acrescida nova camada de areia de modo a manter as amostras plenamente cobertas. Posteriormente, seguiu-se com aquecimento em forno mufla, por um período de 10 horas a temperatura constante de $240^\circ C$. Após o tempo, aguardou-se o resfriamento do sistema e removeu-se as amostras da areia, limpas a seco, embaladas com papel toalha e acondicionadas ao abrigo da luz.

4.3.5. Tingimento em rosa, verde e violeta

Para obtenção das colorações com corantes orgânicos, comumente nominados de anilinas, foram usados os corantes Rodamina B, para obtenção da cor rosa, Verde Brilhante para a cor verde e Violeta Cristal, para a cor violeta (roxa). Posteriormente, os corantes foram dissolvidos em álcool etílico (C_2H_5OH).

Na Tabela 10, contém informações em relação à concentração molar de cada solução para o tingimento nestas cores, assim como a especificação do corante usado.

Tabela 10. Concentração de soluções aquosas para a coloração artificial com anilinas.

Cor	Corante comercial	Relação Solutivo/solvente
Rosa	Rodamina B	3,3:100
Roxo	Cristal Violeta	
Verde	Verde Brilhante	

A seguir, a Figura 25, ilustra as três soluções preparadas para o tingimento padronizado para obtenção de ágatas tingidas dentro da cartela de cores proposta.



Figura 25. Soluções tingidoras para as cores verde, violeta e rosa, da esquerda para a direita.
Fonte: autora (2012).

Após preparo das soluções, as amostras imersas na solução tingidora foram acondicionadas em recipientes plásticos, hermeticamente fechados. Os recipientes foram armazenados dentro do tanque de tingimento para proceder com aquecimento do banho maria, conforme Figura 26.



Figura 26. Tanque de tingimento contendo gemas imersas nas soluções tingidoras para aquecimento em banho maria.

Fonte: autora (2012).

Os recipientes foram mantidos em aquecimento por um período de 8 horas ininterruptas em temperatura constante de 60 °C. Contudo, torna-se necessário o prévio aquecimento da água contida no tanque até que seja alcançada a temperatura desejada, para posterior contagem do intervalo de tempo de 8 horas. O procedimento descrito é repetido por 5 dias (120 horas) consecutivos, totalizando 40 horas de aquecimento contínuo a 60 °C e 120 horas de imersão das gemas nas soluções tingidoras.

Decorrido o período, as amostras foram removidas das soluções tingidoras. Neste caso, os recipientes plásticos foram transferidos para o segundo compartimento do tanque de lavagem, onde foi realizado o primeiro banho, sendo usado o mesmo solvente da dissolução do pigmento, ou seja, álcool.

Em seguida, as gemas foram transferidas para outro recipiente previamente limpo e higienizado, para recebimento da segunda lavagem, porém, com água em quantidade reduzida. O efluente gerado na lavagem foi armazenado em bombona devidamente identificada, para estudo posterior de tratamento e reciclo.

Quanto ao álcool usado na primeira lavagem das gemas, o mesmo foi recolhido em recipientes individuais por cor tingida e reutilizado para reposição do próprio solvente na

solução tingidora, tendo em vista a perda volume por evaporação, quando submetida ao aquecimento em banho maria. Ao término dos procedimentos, as gemas foram acomodadas em papéis, para secagem, finalizando o processo.



**Figura 27. Secagem, à sombra, das gemas após o processo de tingimento e lavagem.
Fonte: autora (2012).**

4.4. OTIMIZAÇÃO

Após a etapa de padronização, com a identificação de quantidades dos reagentes utilizados nos processos de tingimento, foi desenvolvida a variação de concentrações destes para cada cor obtida.

A referida quantificação levou em consideração princípios como as características físico químicas dos reagentes, a redução de suas concentrações, a redução de energia agregada ao processo, a implantação de água de reciclo para as etapas de lavagem, as quais estão ligadas diretamente à redução de custos operacionais do tratamento de gemas.

A partir da fórmula padrão determinada anteriormente, foram definidas variações de quantidades de reagentes, por consequência, variações de concentração das soluções tingidoras, com a finalidade de avaliação da ocorrência ou não de interferências na qualidade da coloração das ágatas em função destas concentrações. Nesta ótica, também pode ser avaliado a

concentração mínima necessária para o estabelecimento de um padrão de qualidade no processo de coloração artificial em gemas.

Ainda, visando práticas sustentáveis tanto ao empreendimento, quanto em questões ambientais, além da substituição da água potável por água de reciclo, para a etapa de lavagem das gemas, foi alterado o balanço hídrico no sistema de lavagem para as cores rosa, roxa e verde, obtidas a partir de compostos orgânicos. No novo sistema proposto, a lavagem das peças foi realizada por um dos próprios reagentes (etanol), o qual foi direcionado, posteriormente, para reconstituição da solução tingidora de origem.

Para a amostragem, usaram-se 12 (doze) amostras de lâminas de ágatas, sendo selecionadas 3 (três) amostras de cada categoria, as quais foram submetidas ao processo de otimização do tingimento artificial em preto, vermelho, azul e verde nas concentrações 1, 2 e 3. Entretanto, para as colorações rosa, violeta e verde, obtidas a partir de corantes orgânicos, foram usadas 20 (vinte) amostras de lâminas de ágatas para cada cor, sendo distribuídas nas concentrações 1, 2, 3, 4 e 5.

As respectivas numerações e códigos de identificação das amostras podem ser verificadas nas Tabela 3 a 9. Cada amostra recebeu duas gravações a *laser*, contendo o código de identificação e ponto exato para medição do comprimento de onda, com círculo de diâmetro de 6 mm (seis milímetros).

4.4.1. Otimização da coloração artificial preta

Para otimização do processo de tingimento em preto, foram utilizados como reagentes, açúcar comercial e ácido sulfúrico concentrado. Na Tabela 11, a seguir podem ser observados os detalhes do produto químico utilizado.

Tabela 11. Informações do reagente para cor preta.

Ácido sulfúrico concentrado	
Reagente	H₂SO₄
Descrição	Ácido Sulfúrico
Fabricante	Neon Comercial Ltda.
Lote	5692
CAS	7664-93-9
ONU	1830
PM	98,08

Fonte: FISPQ.

O preparo das soluções tingidoras ocorreu em três situações diferentes, sendo estas preparadas nas proporções soluto/solvente de 0,5:1, 1:1 e 2:1, conforme as quantidades descritas na Tabela 12 e ilustração da Figura 28.

Tabela 12. Soluções aquosas para a coloração preta.

Concentração	Açúcar comercial	H ₂ O
I	175 g	350 mL
II	350 g	350 mL
III	700 g	350 mL

Após medir a massa, em separado para cada quantidade determinada, submete-se o açúcar comum ao aquecimento até completa fusão deste.

Em um béquer, separou-se 350 mL de água destilada (H₂O_(l)) para misturar a cada uma das quantidades de açúcar fundido. Em chapa de aquecimento, a mistura é homogeneizada, sob agitação constante e sutil, até formação de solução.



Figura 28. Etapa de imersão de ágatas em solução de açúcar nas concentrações I, II e III, durante o processo de otimização da coloração artificial preta.

Fonte: autora (2016).

As amostras de gemas foram dispostas no interior de um béquer, de modo que todas ficassem submersas na solução tingidora de açúcar. Após acondicionar adequadamente o sistema, o mesmo foi reservado, permanecendo em repouso por imersão num período de 168

horas (7 dias), sem aquecimento. As variações de temperatura ambiente foram controladas, conforme pode ser verificado na Tabela 13, com as máximas e mínimas medidas durante os dias em imersão.

Tabela 13. Controle de temperatura ambiente, para a imersão de ágata em solução de açúcar.

Dia	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)
1	20,6	15,5
2	18,8	13,5
3	14,5	8,7
4	14,8	8,5
5	22,4	11,1
6	18,6	15,0
7	15,2	8,6

Transcorrido o período de tempo, as amostras de ágatas foram retiradas do interior desta solução, transferindo-as para outro recipiente apropriado, seguindo com a lavagem das peças em água de reciclo.

As amostras de ágatas foram novamente acondicionadas em um béquer, de modo a viabilizar a imersão total destas em ácido sulfúrico. Assim, em capela de exaustão, preparou-se 250 mL de ácido sulfúrico concentrado ($H_2SO_{4(aq)}$), adicionando o volume medido às gemas.

Essas permaneceram em imersão por 120 horas, sem aquecimento. As variações de temperatura ambiente foram controladas, conforme pode-se verificar na Tabela 14, contendo as máximas e mínimas medidas.

Tabela 14. Controle de temperatura ambiente, para a imersão de ágata em $H_2SO_{4(aq)}$.

Dia	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)
1	11,7	3,8
2	12,9	1,8
3	16,4	3,1
4	14,5	6,7
5	13,6	10,2

Após transcorrido o período de tempo supracitado, as amostras foram removidas da imersão com auxílio da pinça tenaz, transferindo-as para outro recipiente. As peças foram lavadas em água de reciclo.

Na próxima etapa, as peças foram dispostas em forma metálica, em camadas intercaladas com areia, para aquecimento ou “queima” em forno mufla, a 200 °C, por um período de 4 horas.

Após o período de aquecimento, aguardou-se o resfriamento do sistema dentro do forno, para posterior separação do mesmo, finalizando o processo.

A seguir, é apresentado o fluxograma do processo de otimização para a coloração artificial em preto aplicada às gemas, na Figura 29.

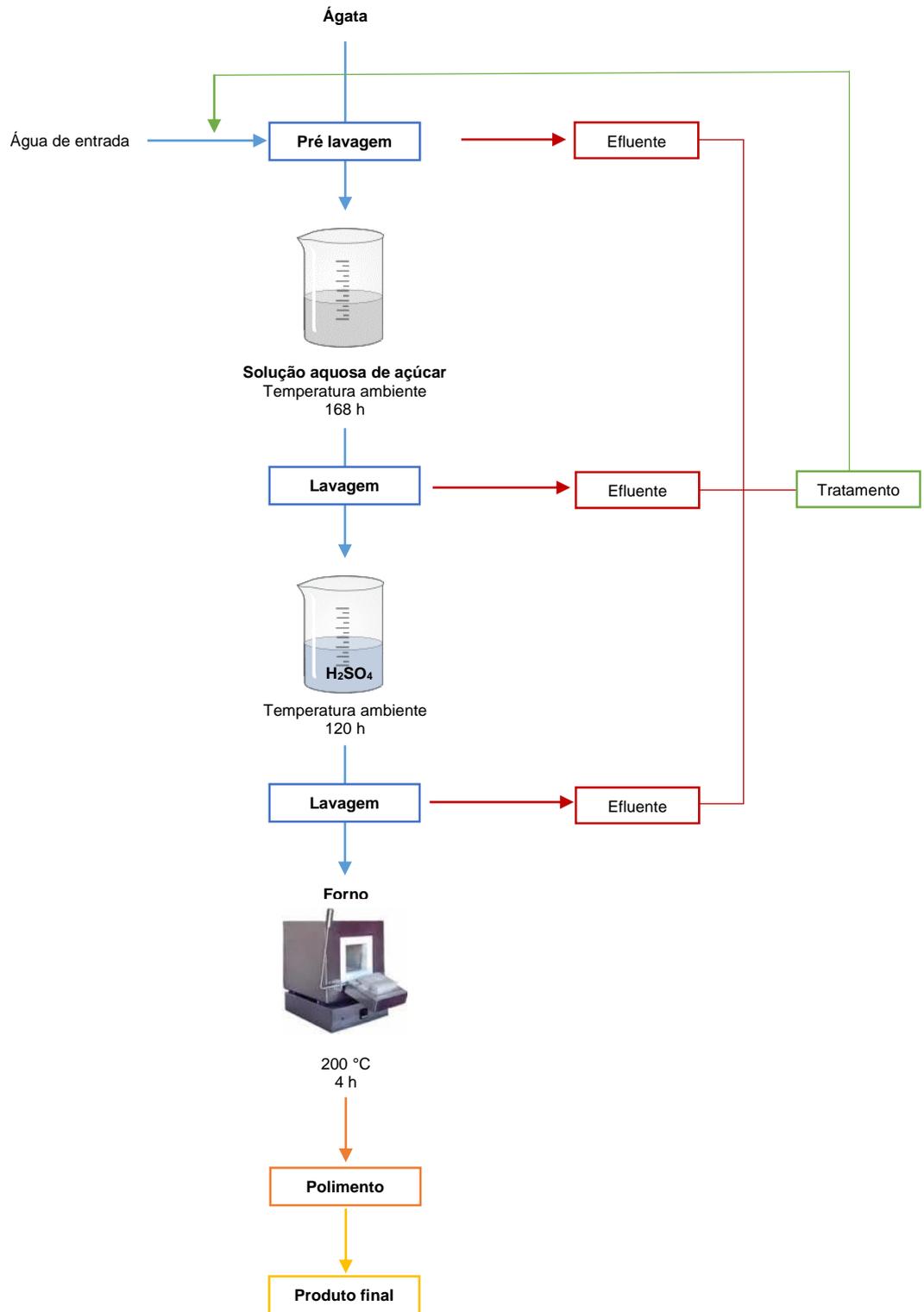


Figura 29. Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial preta em ágatas.
Fonte: autora.

4.4.2. Otimização da coloração artificial vermelha

Para otimização do processo de tingimento em vermelho, foram utilizados como reagentes, cloreto de ferro III hexa hidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{9(s)}$), água, ácido nítrico concentrado ($\text{HNO}_{3(\text{conc})}$) e ferro sólido ($\text{Fe}_{(s)}$). Na Tabela 15, a seguir, pode ser observado as informações químicas dos produtos analíticos utilizados.

Tabela 15. Informações de reagentes, para coloração vermelha.

Reagentes	
Reagente 01: $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Reagente 02: HNO_3
Descrição: Cloreto de ferro III	Descrição: Ácido nítrico
Fabricante: Dinâmica Química Cont.	Fabricante: Labsynth Prod.
Lote: 73220	Lote: 183647
CAS: 10025-77-1	CAS: -
ONU: -	ONU: 2031
Teor: 97%	Teor: 65%
PM: 270,3	PM: 63,01

Fonte: FISPQ.

As soluções de cloreto férrico hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}$) foram preparadas em três concentrações diferentes, sendo cada uma destas nominadas por concentração 1, 2 e 3, conforme informações descritas na Tabela 16.

Tabela 16. Concentrações da solução aquosa de cloreto de ferro III hexaidratado.

Concentração	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}$
I	0,5 mol.L ⁻¹
II	1,0 mol.L ⁻¹
III	2,6 mol.L ⁻¹

Após o preparo das soluções, em capela de exaustão, adicionou-se 250 mL de $\text{HNO}_{3(\text{aq})}$ a 42% e as quantidades de 6,20 gramas, 12,5 gramas e 25,0 gramas de $\text{Fe}_{(s)}$, respectivamente, nas soluções de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}$ com concentrações I, II e III.



Figura 30. Vista da capela de exaustão, contendo as três soluções tingidoras para a cor vermelha.
Fonte: autora (2016).

Os conjuntos de amostras foram acondicionados em cada uma das soluções tingidoras, de modo que todos ficassem submersos nestas, permanecendo em repouso por imersão por 168 horas (7 dias), sem aquecimento. As variações de temperatura ambiente foram controladas, conforme pode ser compulsado na Tabela 17, contendo as máximas e mínimas medidas em cada dia.

Tabela 17. Controle de temperatura ambiente, para a imersão em coloração vermelha

Dia	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)
1	15,4	2,4
2	13,1	4,1
3	11,4	3,6
4	12,6	2,4
5	11,4	2,6
6	12,4	1,0
7	20,6	15,5

Transcorridos o período supracitado, as amostras de gemas foram removidas do interior da solução tingidora, transferindo-as para outro recipiente, seguindo com a lavagem das gemas com água de reciclo. Na Figura 31, pode ser visualizado o sistema formado pelas ágatas e a soluções tingidoras para a coloração vermelha, nas três concentrações diferentes.



Figura 31. Lotes de ágatas submetidos ao tingimento otimizado em solução tingidora para cor vermelha, nas concentrações 1, 2 e 3, respectivamente, da esquerda para a direita.

Fonte: autor (2016).

Posteriormente, as amostras foram dispostas em camadas intercaladas com areia, forma metálica, seguindo com aquecimento em forno mufla, a 240 °C, por um período de 4 horas. Transcorrido o período de aquecimento, aguardou-se o resfriamento do sistema, para retirada das amostras.

Assim, é apresentado a seguir, na Figura 32, o fluxograma do processo de otimização para a coloração artificial em vermelho aplicado às gemas.

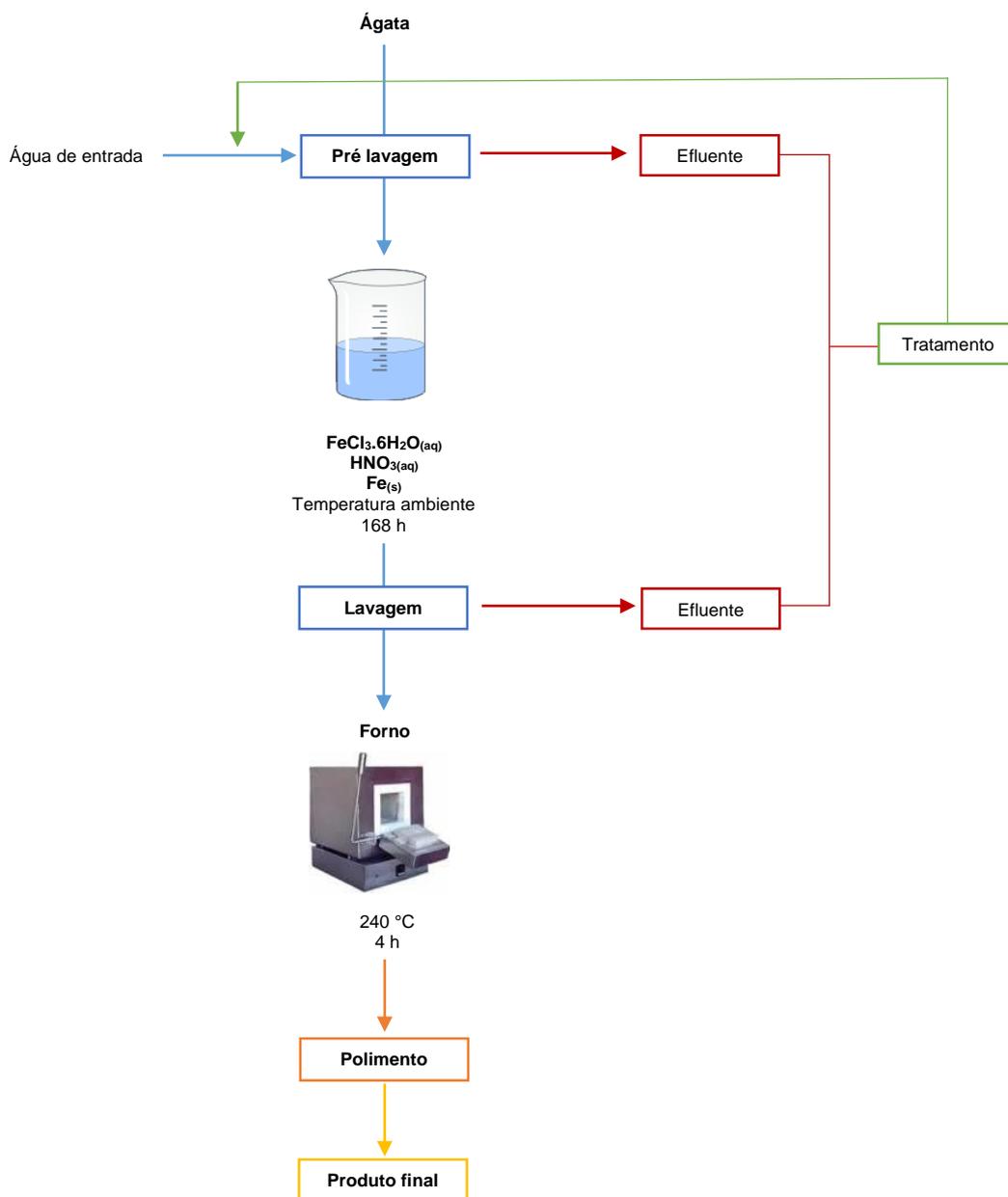


Figura 32. Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial vermelha em ágatas.
Fonte: autora.

4.4.3. Otimização da coloração artificial azul

Para otimização do processo de tingimento em azul, foram utilizados como reagentes, ferricianeto de potássio ($K_3Fe(CN)_6(s)$), água e ácido sulfúrico concentrado ($H_2SO_{4\ conc}$), sendo estes, puros analíticos (P. A.). Na Tabela 18, a seguir constam as informações acerca dos químicos usados.

Tabela 18. Informações técnicas de reagentes para obtenção da coloração azul.

Reagentes	
Reagente 01: $K_3Fe(CN)_6$	Reagente 02: H_2SO_4
Descrição: Ferricianeto de potássio	Descrição: Ácido Sulfúrico
Fabricante: Neon Comercial Ltda.	Fabricante: Neon Comercial Ltda.
Lote: 5754	Lote: 5692
CAS: 13746-66-2	CAS: 7664-93-9
ONU: -	ONU: 1830
Teor: -	Teor: -
PM: 329,24	PM: 98,08

Fonte: FISPQ.

As soluções foram preparadas nas proporções em massa de 0,25:2, 0,5:2 e 0,9:2, respectivamente, para a relação sal e água. Assim, se obtiveram três soluções com concentrações diferentes (Figura 33), nominadas por 1, 2 e 3, conforme descrição da Tabela 19.



Figura 33. Soluções de ferricianeto de potássio, em três concentrações diferentes.
Fonte: autora (2016).

Tabela 19. Variações da concentração da solução de ferricianeto de potássio.

Concentração	Proporção mássica $K_3Fe(CN)_6(s):H_2O$
I	0,25:2
II	0,5:2
III	0,9:2

Em seguida, procedeu-se com imersão dos conjuntos de amostras em cada um dos três sistemas (Figura 34), onde permaneceram em repouso, por 168 horas (7 dias), sem aquecimento.



Figura 34. Ágatas imersas em $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_{6(\text{aq})}$ nas concentrações 1, 2 e 3, da esquerda para a direita.
Fonte: autora (2016).

Para tanto, foram controladas as variações de temperatura ambiente ao decorrer do período de imersão, sendo estas transcritas para a Tabela 20, com as máximas e mínimas medidas.

Tabela 20. Controle de temperatura ambiente, para a imersão de ágata em $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_{6(\text{aq})}$.

Dia	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)
1	20,8	10,8
2	15,08	14,0
3	14,4	11,1
4	14,1	9,4
5	14,8	5,5
6	15,1	4,1
7	9,9	5,6

Após o período de imersão em $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_{6(\text{aq})}$, as amostras foram lavadas em água de reciclo. Em capela de exaustão, foi preparado 250 mL de ácido sulfúrico ($\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$) concentrado P. A., deixando as amostras em imersão neste por 24 horas, sem aquecimento. Na Tabela 21, pode ser verificado as variações de temperatura ambiente para o respectivo período.

Tabela 21. Controle de temperatura ambiente, para a imersão de ágata em $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$.

Dia	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)
1	9,9	5,6
2	15,0	1,8

Em seguida, procedeu com a remoção das amostras do ácido, sendo estas lavadas em água de reciclo. Foi adicionado 250 mL de água, em temperatura de ebulição, sobre as amostras e manteve-se o sistema em imersão por 4 horas, sem aquecimento.

Transcorrido o período de tempo, retirou-se as amostras de gemas do sistema, as quais foram dispostas em camadas intercaladas com areia, em forma metálica para aquecimento de 4 horas em forno mufla, a 50°C. Após o período, aguardou-se o resfriamento do sistema, para posterior separação do mesmo.

Desta forma, é apresentado a seguir, na Figura 35, o fluxograma do processo otimizado para a coloração artificial em azul aplicado às gemas, para as concentrações 1, 2 e 3.

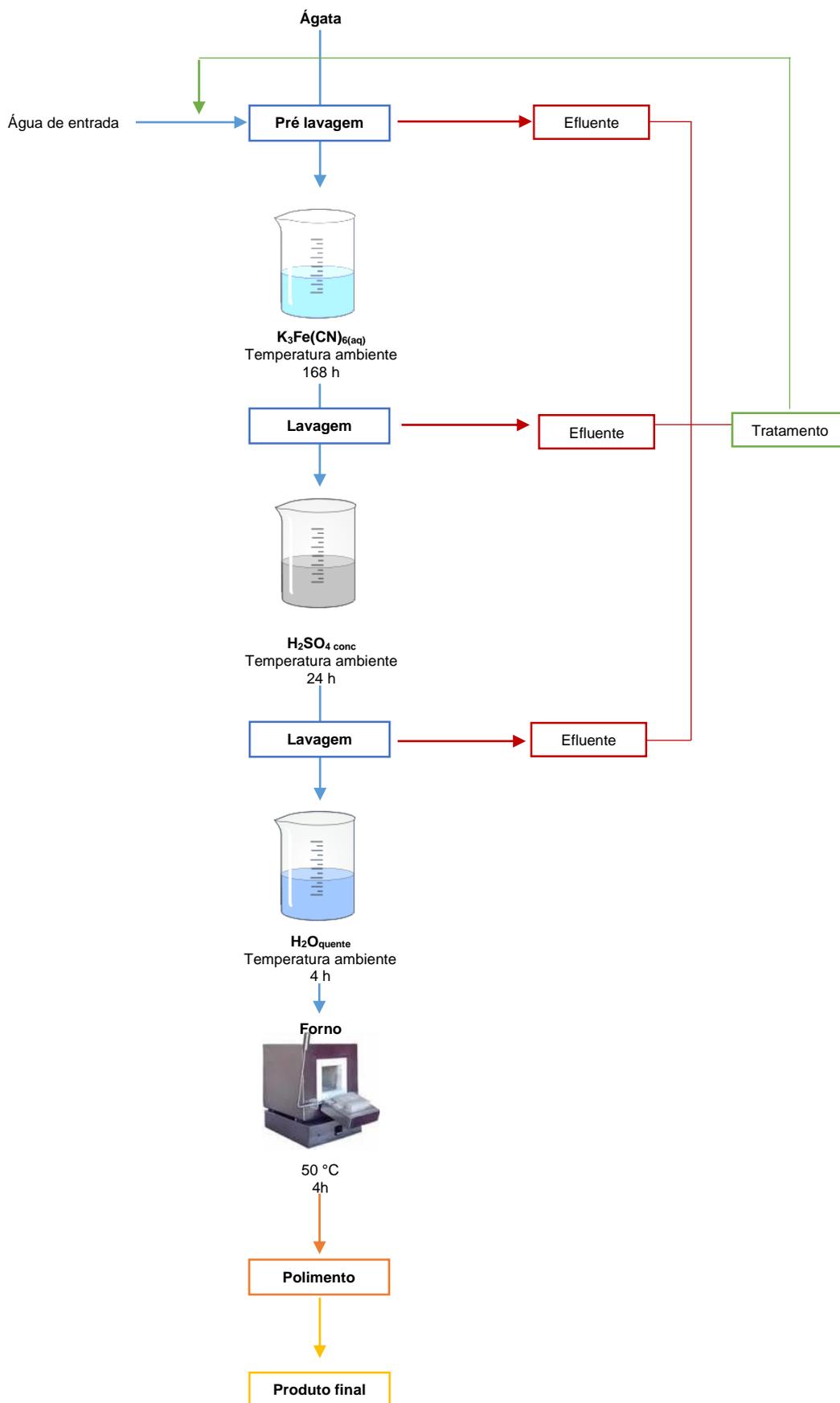


Figura 35. Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial azul em ágatas.
Fonte: autora.

4.4.4. Coloração artificial verde

Para otimização do processo de tingimento em verde, foram utilizados como reagentes, anidrido crômico ($\text{CrO}_{3(s)}$) e cloreto de amônio ($\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)}$). Na Tabela 22, a seguir podem ser observados os detalhes dos produtos químicos utilizados.

Tabela 22. Informações técnicas dos reagentes químicos usados para obtenção da coloração verde.

Reagentes	
Reagente 01: CrO_3	Reagente 02: NH_4Cl
Descrição: Anidrido crômico	Descrição: Cloreto de amônio
Fabricante: Vetec Química Fina	Fabricante: Neon Com. Ltda
Lote: 1105760	Lote: 6642
CAS: -	CAS: 12125-02-9
ONU: 1463	ONU: 3077
Teor: 98%	Teor: 99,50%
PM: 99,99	PM: 53,49

Fonte: FISPQ.

As soluções usadas foram preparadas, individualmente, em três concentrações diferentes, sendo usado as molaridades de 3,1 M, 6,2 M e 12,5 M para as soluções aquosas de óxido de cromo IV ($\text{CrO}_{3(aq)}$), sendo nominadas, respectivamente, por 1, 2 e 3, conforme Tabela 23. O volume destas soluções representa 40 partes do volume total, após a mistura com as soluções de cloreto de amônio.

Para a solução aquosa de cloreto de amônio, foram usadas as concentrações de 1,9 M, 3,7 M e 7,5 M, representando, respectivamente, as concentrações nominadas simbolicamente por 1, 2 e 3 (Tabela 23). O volume destas soluções representa 60 partes do volume total, após a mistura com as soluções de anidrido crômico, conforme reportado na Tabela 23.

Tabela 23. Concentrações das soluções aquosas utilizadas para a obtenção da coloração verde.

Concentração	$\text{CrO}_{3(aq)}$	$\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)}$
I	3,12 mol.L ⁻¹	1,87 mol.L ⁻¹
II	6,25 mol.L ⁻¹	3,74 mol.L ⁻¹
III	12,5 mol.L ⁻¹	7,49 mol.L ⁻¹

Após mistura das soluções, as amostras de gemas foram dispostas no interior de béquer (Figura 36), de modo que ficassem submersas na solução tingidora.



Figura 36. Vista geral dos lotes de ágatas submetidos ao tingimento otimizado em solução aquosa para obtenção da cor verde, nas concentrações 1, 2 e 3, da esquerda para a direita.

Fonte: autora (2016).

Ao acondicionar adequadamente, o sistema foi reservado, deixando em repouso por imersão por um período de 168 horas (7 dias), sem aquecimento. As variações de temperatura ambiente foram controladas, conforme pode-se verificar na Tabela 24, contendo as máximas e mínimas medidas.

Tabela 24. Controle de temperatura ambiente durante a imersão de ágata para obtenção da cor verde.

Dia	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)
1	15,4	2,4
2	13,1	4,1
3	11,4	3,6
4	12,6	2,4
5	11,4	2,6
6	12,4	1,0
7	20,6	15,5

Transcorrido o período de tempo, retirou-se as amostras da solução tingidora, transferindo-as para outro recipiente, lavando-as com água de reciclo.

Dispõem-se as amostras de ágatas em camadas intercaladas com areia, em recipiente ou forma metálica. Colocando-as em forno mufla para aquecimento, a 240 °C, por um período de 10 horas. Transcorrido o período de aquecimento, aguardou-se o resfriamento do sistema, para posterior separação do mesmo.

Em suma, é apresentado, a seguir, o fluxograma do processo de otimização para a coloração artificial verde aplicado às gemas, para as concentrações 1, 2 e 3, conforme Figura 37.

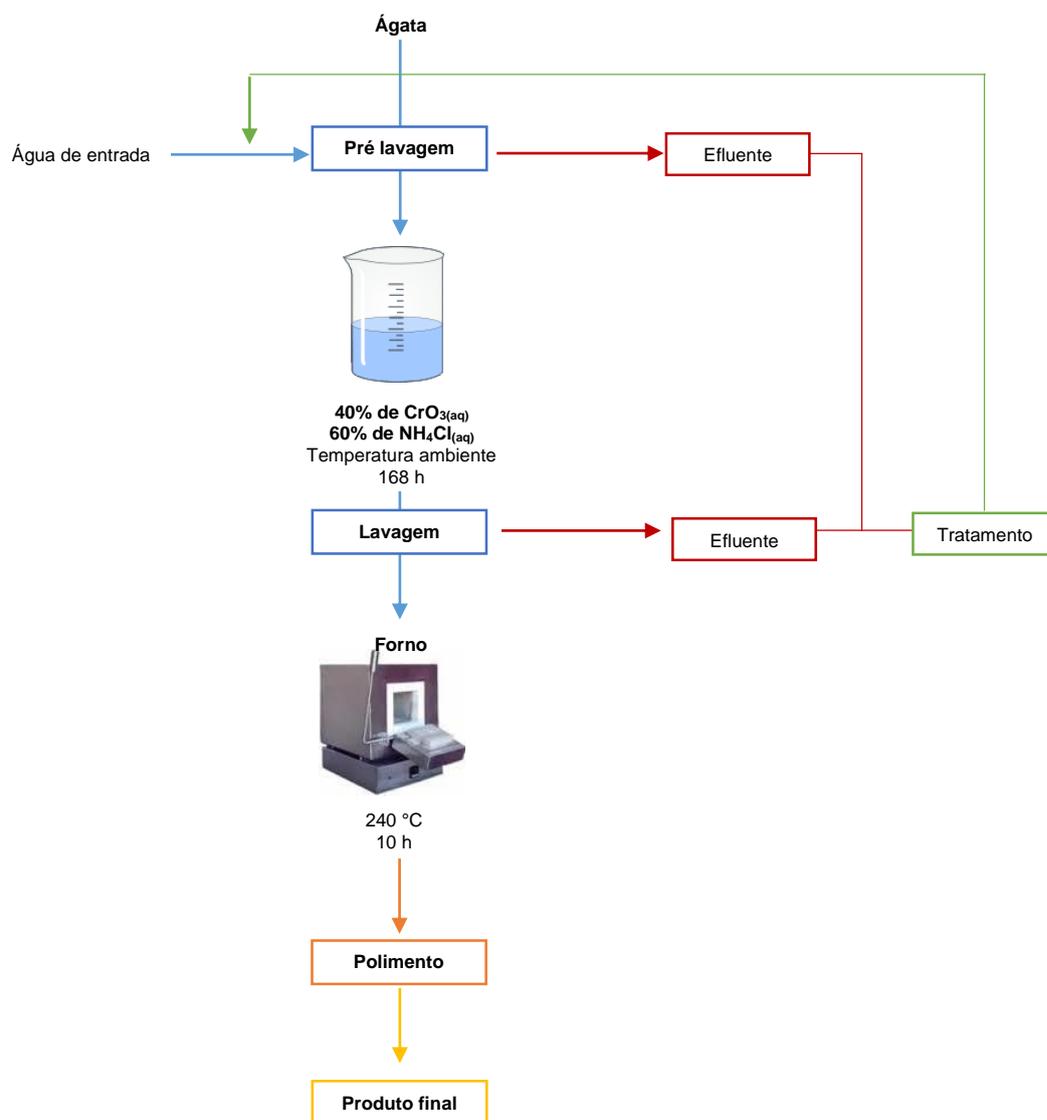


Figura 37. Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial verde em ágatas.
Fonte: autora.

4.4.5. Coloração artificial rosa com corante orgânico

Para otimização do processo de tingimento em rosa, foram utilizados como reagentes, Rodamina B e etanol. Na Tabela 25, a seguir podem ser observados os detalhes dos produtos analíticos utilizados.

Tabela 25. Informações de reagentes, para obtenção da coloração rosa.

Reagentes	
Reagente 01: C₂₈H₁₀ClN₂O₃ Descrição: Rodamina B P.A. Fabricante: Dinâmica Química Cont. Lote: 69716 CAS: 81-88-9 ONU: - Teor: - PM: 479,02	Reagente 02: C₂H₅OH Descrição: Álcool etílico Fabricante: Dinâmica Química Cont. Lote: 71388 CAS: 64-17-5 ONU: - Teor: 66% PM: 46,07

Fonte: FISPQ.

Também foi utilizado pigmento rosa, adquirido no comércio local, sendo este comercializado para o setor mineral local como corante para o tingimento em rosa. Tal pigmento também foi utilizado em testes preliminares, que subsidiaram parâmetros e indicativos durante a replicação e padronização dos sistemas de tingimento, sendo armazenado por 4 anos e reutilizado no processo da concentração 4 da otimização. O mesmo ocorreu para os demais pigmentos (verde e violeta) que correspondem aos ensaios da concentração 4 destas cores.

O preparo das soluções tingidoras ocorreu em cinco situações diferentes, sendo estas preparadas nas quantidades descritas na Tabela 26. Para cada solução abaixo, foram utilizados 0,5 L de solvente, sendo este o álcool etílico.

Tabela 26. Concentração das soluções alcoólicas para a coloração rosa.

Concentração	Corante:álcool
I	0,4:100
II	0,8:100
III	1,7:100
IV*	3,3:100
V	3,8:100

*Produto comercial (não analítico).

Depois de preparada cada uma das soluções tingidoras, acrescentou-se as amostras de água para imersão por um período de sete dias (168 horas), sem aquecimento (Figura 38). As

variações de temperatura ambiente foram controladas, conforme pode ser verificado na Tabela 27, contendo as máximas e mínimas medidas.



Figura 38. Lotes de ágata submetidos ao tingimento otimizado em solução alcoólica de Rodamina B, para as concentrações 1, 2 e 3, para obtenção da tonalidade rosa.

Fonte: autor (2016).

Tabela 27. Controle de temperatura ambiente durante a imersão de ágata em solução de Rodamina B.

Dia	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)
1	12,7	0,3
2	18,3	2,5
3	18,3	6,6
4	20,9	9,6
5	17,9	12,6
6	14,4	7,8
7	12,8	4,7

Transcorrido o período de tempo, retirou-se as amostras de ágatas do interior da solução tingidora e as transferiu para outro recipiente. Na primeira lavagem, foi utilizado o etanol, sendo este reincorporado ao processo produtivo novamente como repositório de solvente evaporado. Posteriormente, é realizado a segunda lavagem, com água.

Na Figura 39, é apresentado, o fluxograma do processo de otimização para a coloração artificial rosa aplicado às gemas, para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5.

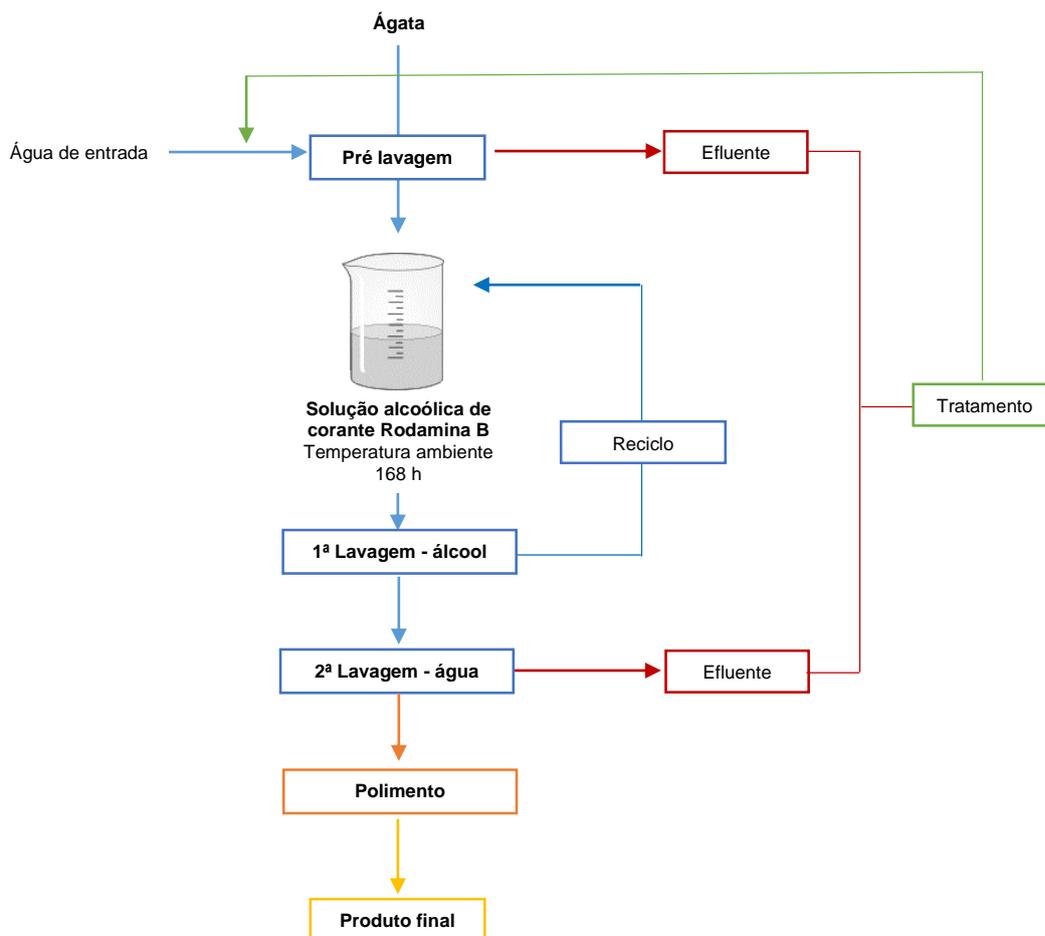


Figura 39. Fluxograma do tingimento otimizado para obtenção da coloração rosa em ágata.
Fonte: autora.

4.4.6. Coloração artificial verde com corante orgânico

Para a otimização do processo de tingimento em verde, foram utilizados como reagentes, verde brilhante e etanol. Na Tabela 28, a seguir podem ser observados os detalhes dos produtos analíticos utilizados.

Tabela 28. Informações de reagentes para obtenção da cor verde, com corante orgânico.

Reagentes	
Reagente 01: C₂₇H₃₄N₂O₄S Descrição: Verde Brilhante Fabricante: Vetec Química Fina Lote:1101389 CAS: - ONU: 2711 Teor: - PM: 482,64	Reagente 02: C₂H₅OH Descrição: Álcool etílico Fabricante: Dinâmica Química Cont. Lote: 64812 CAS: 64-17-5 ONU: - Teor: 95% PM: 46,07

Fonte: FISPQ.

O preparo das soluções tingidoras ocorreu em cinco situações diferentes, sendo estas preparadas nas quantidades descritas na Tabela 29.

Tabela 29. Concentração das soluções alcoólicas para a coloração verde.

Concentração	Soluto/solvente
I	1,2:100
II	2,4:100
III	3,3:100
IV*	3,3:100
V	5,0:100

*Produto comercial (não analítico).

Depois de preparada cada uma das soluções tingidoras, acrescentou-se as amostras de ágata para imersão por um período de sete dias (168 horas), sem aquecimento, conforme pode ser verificado na Figura 40, a seguir.



Figura 40. Vista dos lotes de ágatas submetidos ao tingimento otimizado em solução alcoólica de corante verde brilhante, para as concentrações 1, 2 e 3.

Fonte: autora (2016).

As variações de temperatura ambiente foram controladas, conforme pode-se verificar na Tabela 30, contendo as máximas e mínimas medidas.

Tabela 30. Controle de temperatura ambiente durante a imersão de ágata em coloração verde.

Dia	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)
1	12,7	0,3
2	18,3	2,5
3	18,3	6,6
4	20,9	9,6
5	17,9	12,6
6	14,4	7,8
7	12,8	4,7

Transcorrido o período de tempo, retirou-se as amostras de ágatas do interior da solução tingidora e as transferiu para outro recipiente. Lavou-se as amostras em quantidade mínima de etanol, visando o reciclo do processo.

Na Figura 41, é apresentado, o fluxograma do processo de otimização para a coloração artificial verde, a partir de corante orgânico, aplicado para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5.

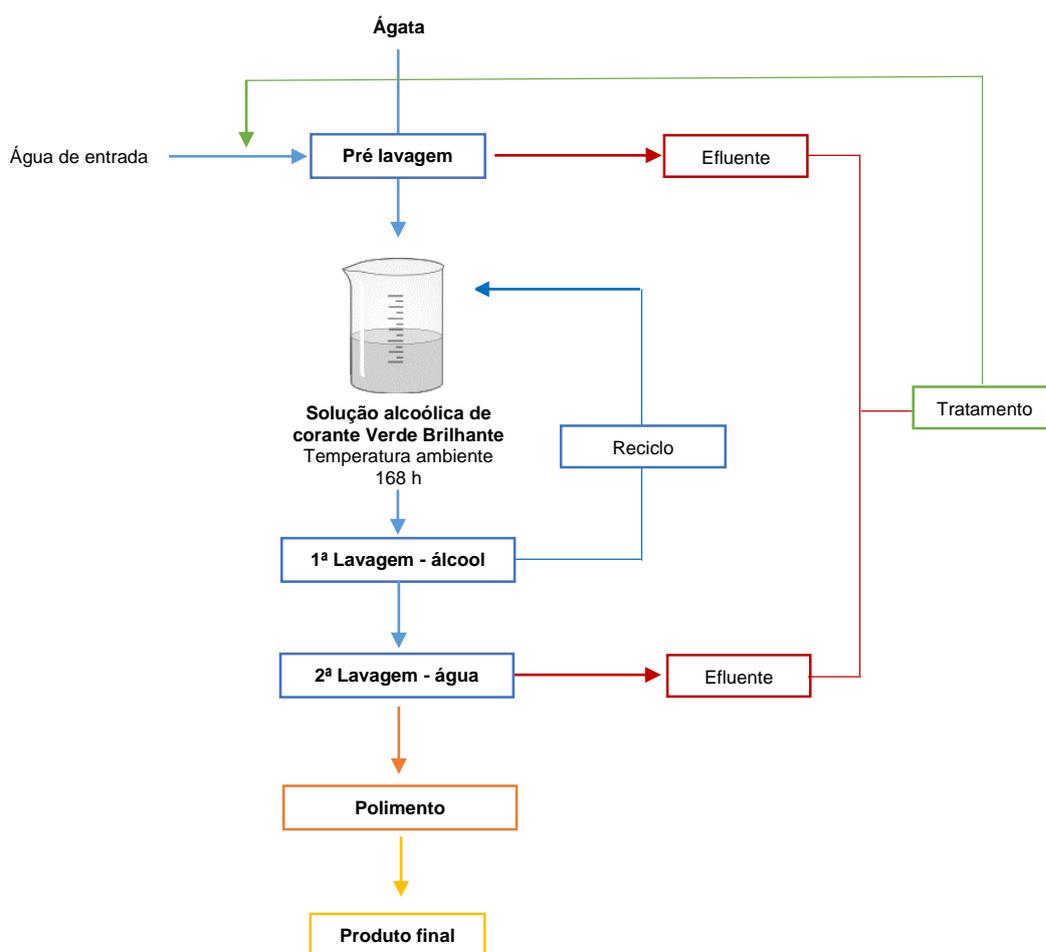


Figura 41. Fluxograma do tingimento otimizado para obtenção da coloração verde com corante orgânico.
Fonte: autora.

4.4.7. Coloração artificial violeta com corante orgânico

Para otimização do processo de tingimento em roxo, foram utilizados como reagentes, violeta cristal e etanol. Na Tabela 31, a seguir podem ser observados os detalhes dos produtos analíticos utilizados.

Tabela 31. Informações de reagentes, para obtenção da coloração violeta.

Reagentes	
Reagente 01: C₂₅H₃₀N₃Cl	Reagente 02: C₂H₅OH
Descrição: Violeta Cristal	Descrição: Álcool etílico
Fabricante: Neon Comercial Ltda.	Fabricante: Dinâmica Química Cont.
Lote: 3905	Lote: 64812
CAS: 548-62-9	CAS: 64-17-5
ONU: 3077	ONU: -
Teor: -	Teor: 95%
PM: 407,98	PM: 46,07

Fonte: FISPQ.

O preparo das soluções tingidoras ocorre em cinco situações diferentes, sendo estas preparadas nas quantidades descritas na Tabela 32, a seguir.

Tabela 32. Concentração das soluções para obtenção da coloração roxa/violeta.

Concentração	Soluto/solvente
I	0,6:100
II	0,8:100
III	1,6:100
IV*	3,4:100
V	4,0:100

*Produto comercial (não analítico).

Depois de preparada cada uma das soluções tingidoras, acrescentou-se as amostras de ágata para imersão por um período de sete dias (168 horas), sem aquecimento, conforme Figura 42.



Figura 42. Vista dos lotes de ágata submetidos ao tingimento otimizado em roxo, a partir do corante cristal violeta, para as concentrações 1, 2 e 3.

Fonte: autora.

As variações de temperatura ambiente foram controladas, conforme pode-se verificar na Tabela 33, contendo as máximas e mínimas medidas.

Tabela 33. Controle de temperatura ambiente durante a imersão de ágata em coloração roxa.

Dia	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)
1	12,7	0,3
2	18,3	2,5
3	18,3	6,6
4	20,9	9,6
5	17,9	12,6
6	14,4	7,8
7	12,8	4,7

Transcorrido o período, retirou-se as amostras de ágatas do interior da solução tingidora, transferindo-as para outro recipiente. Lavou-se as amostras em quantidade mínima de etanol, visando o reciclo do processo.

Na Figura 43, é apresentado, o fluxograma do processo de otimização para obtenção da coloração artificial violeta, a partir de corante orgânico, aplicado nas gemas para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5.

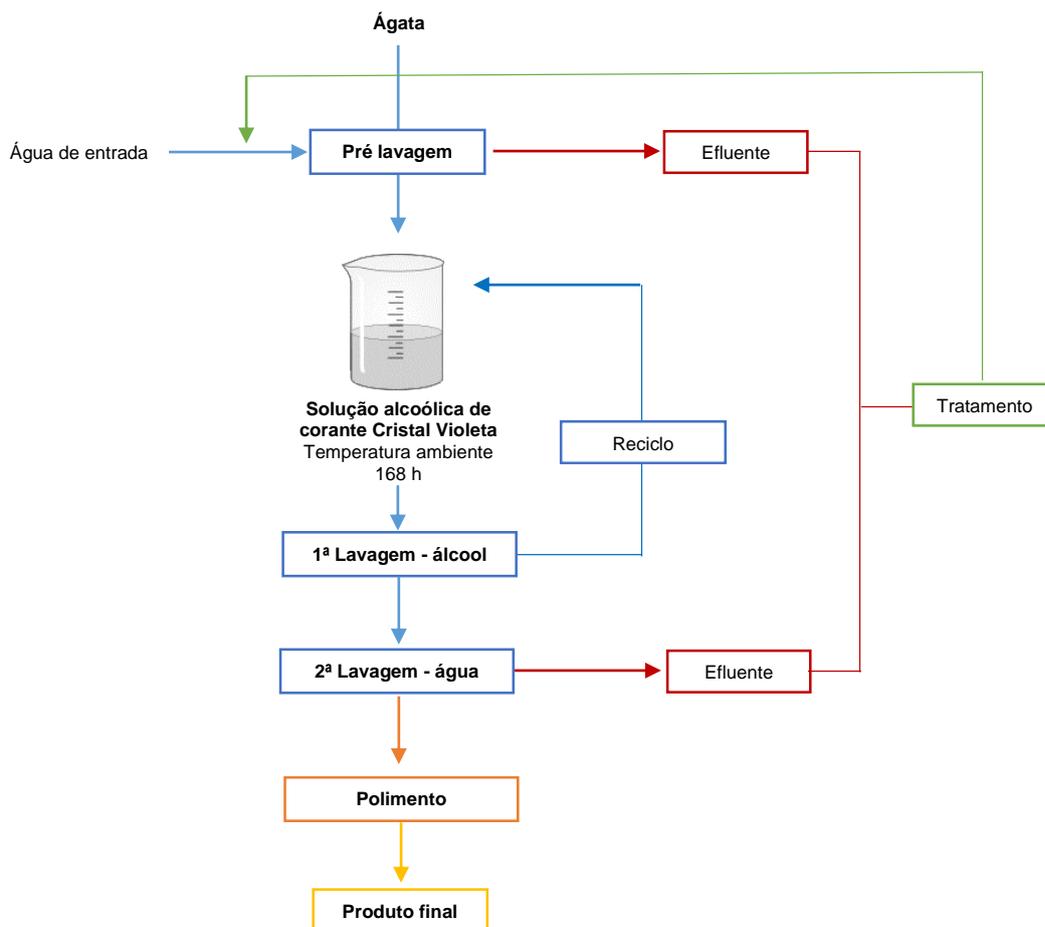


Figura 43. Fluxograma para o processo de otimização da coloração artificial violeta em ágata.
Fonte: autora.

4.5. SISTEMA DE TINGIMENTO INDUSTRIAL (CONVENCIONAL)

Todas as amostras, submetidas ao processo de tingimento artificial pelo método convencional (comercial local), foram tingidas por empresa local, via empreendedor e/ou funcionários, dentro do respectivo estabelecimento que realiza o beneficiamento mineral com tratamento de ágatas. Os detalhes das amostras utilizadas estão descritos nas Tabelas 3 a 9.

4.5.1. Tingimento em preto

A solução tingidora foi preparada a partir da dissolução de açúcar em água, sendo utilizado também, o ácido sulfúrico no processo, porém, não se tem conhecimento da concentração deste. A quantidade estimada de dissolução de açúcar em água, fica em torno de uma proporção de 2:1, respectivamente.

Devido a evaporação da água, não pode ser atribuída confiabilidade aos números, porque as soluções tingidoras são reconstituídas com frequência, sem critério de cálculo e avaliação da concentração desta.

Posteriormente, o sistema formado pelas ágatas e a solução de açúcar, foi aquecido por uma temperatura média estimada de 80 a 90 °C, por um período de tempo, que varia de 120 a 168 horas.

Após o período supra descrito, as ágatas foram retiradas da solução de açúcar, lavadas em água com abundância e imersas em ácido sulfúrico, com aquecimento, por um período que varia de 72 a 120 horas e temperatura estimada de 80 °C, em geral.

Posteriormente, as ágatas passam pela lavagem novamente e são submetidas ao aquecimento em fornos por um período de 10 (dez) horas a temperatura de 220° C, finalizando assim, o processo de tingimento.

4.5.2. Tingimento em vermelho

As ágatas foram imersas em solução pré-preparada, nominada vulgarmente por “percloro”, acrescida de ácido e pregos ou serra diamantada, em concentrações não especificadas tecnicamente, porém, após sequência de perguntas direcionadas, pode ser estimada as quantidades de reagentes químicos.

O termo coloquial “percloro” se refere ao “percloro de ferro”, assim como o termo “ácido”, se refere ao ácido nítrico (HNO₃).

A solução tingidora vermelha, foi preparada em instalações rudimentares, dentro do próprio local do empreendimento. Para esta solução, ocorre a fase de “desdobramento”, na linguagem local, onde é adicionado 5 kg de ferro em 50 L de ácido nítrico (concentração desconhecida).

Esta reação provoca a liberação de gases tóxicos e nitrosos de coloração castanho avermelhada, formados pela reação entre o ácido nítrico e o metal.

Em seguida, é adicionado 7 Kg de “percloro de ferro” ao sistema em questão.

Posteriormente, o sistema formado, passa por aquecimento em banho maria numa temperatura média de 60 a 70° C, por um período de tempo, que varia de 72 a 96 horas.

Após o período supra descrito, as ágatas foram retiradas da solução tingidora, lavadas em abundância e submetidas ao aquecimento em fornos convencionais por um período de 10 (dez) horas a temperatura de 240° C, finalizando o processo de tingimento.

4.5.3. Tingimento em azul

Inicialmente as ágatas foram imersas em solução aquosa, nominada por “cianeto”, a qual é preparada pela adição de 2,5 L de “cianeto” em 15 L de água, sendo estabelecida a proporção de 0,16:1 (“cianeto”:água).

A seguir, procedeu-se com banho maria, a 60°C por período de 120 a 192 horas (5 a 8 dias).

Após esta etapa, as amostras foram lavadas com água corrente em abundância e submetidas, novamente, ao banho maria em ácido sulfúrico, de concentração ignorada, por 12 horas a temperatura média de 80°C.

Ao retirar as ágatas do sistema, são lavadas em abundância e inseridas em água para fervura por 24 horas a temperatura estimada de 80°C, sendo necessário a reposição periódica de água evaporada.

Posteriormente, são colocadas em forno convencional por 4 horas, à 50°C.

4.5.4. Tingimento em verde

As gemas ficaram em imersão em solução formada por solução de ácido crômico (H_2CrO_4) e cloreto de amônio (NH_4Cl) em proporções diferentes, sendo estimada 40 partes de ácido para 60 de sal de amônio.

Em nenhum dos empreendimentos visitados, foi possível obter a proporção exata das soluções, tampouco as quantidades e origem dos reagentes.

As gemas ficaram imersas nesta solução por período de 120 a 192 horas, sob aquecimento contínuo a uma temperatura estimada de 70 °C.

As empresas locais não possuem controle ou gerenciamento de temperatura, sendo que o sistema de aquecimento não permanece em temperatura constante.

Após o período supra descrito, as ágatas foram retiradas da solução tingidora, lavadas em abundância e submetidas ao aquecimento em forno por período de 12 horas a uma temperatura que pode variar de 230 a 260 °C e seguem para o processo de acabamento das peças.

4.5.5. Tingimento em rosa

As ágatas foram submetidas a imersão em solução tingidora rosa, a base de corantes orgânicos, sendo usado possivelmente a Rodamina B ou associações desta.

Inicialmente, a solução é preparada a partir da dissolução de anilina (corante) em álcool combustível, na proporção de 0,5:15 e permaneceram nesta solução sob aquecimento contínuo, em banho maria, por período que varia de cinco a sete dias (120-168 horas), com temperatura estimada entre 60 a 80°C.

Em função da evaporação do solvente sob aquecimento, ocorre a reposição deste para manter o nível mínimo necessário da imersão total das peças.

Posteriormente, foram lavadas com água em abundância e seguem para o processo de acabamento das peças.

4.5.6. Tingimento em verde

As ágatas foram submetidas a imersão em solução tingidora verde, a base de corantes orgânicos, sendo usado possivelmente o Verde Brillante.

Inicialmente, a solução é preparada a partir da dissolução de anilina (corante) em álcool combustível, na proporção de 0,5:15.

Permanecem nesta solução sob aquecimento contínuo, em banho maria, por período que varia de cinco a sete dias (120-168 horas), com temperatura estimada entre 60 a 80°C.

Em função da evaporação do solvente sob aquecimento, ocorre a reposição deste para manter o nível mínimo necessário da imersão total das peças.

Posteriormente, são lavadas com água em abundância e seguem para o processo de acabamento das peças.

4.5.7. Tingimento em roxo

As ágatas foram submetidas a imersão em solução tingidora roxa/violeta, a base de corante orgânico, sendo este possivelmente, o Cristal Violeta.

Inicialmente, a solução é preparada a partir da dissolução de anilina (corante) em álcool combustível, na proporção de 0,5:15.

Permanecem nesta solução sob aquecimento contínuo, em banho maria, por período que varia de cinco a sete dias (120-168 horas), com temperatura estimada entre 60 a 80°C. Em função da evaporação do solvente sob aquecimento, ocorre a reposição deste para manter o nível mínimo necessário da imersão total das peças.

Posteriormente, são lavadas com água em abundância e seguem para o processo de acabamento das peças.

4.6. ANÁLISE ESPECTROFOTOMÉTRICA

Todas as amostras de ágatas que passaram pelo processo de tingimento convencional e otimizado, foram submetidas à análises por espectrofotometria em três momentos distintos, sendo esses, antes do tingimento, entre o tingimento e o polimento e após o polimento.

As leituras se executam com o auxílio do espectrofotômetro MINOLTA CM-2600d, com esfera de integração associada a um filtro ultravioleta. Usa-se como iluminante o D65, que representa a repartição espectral da luz do dia.

A captação da reflectância simula um observador a 10°. Executa-se a calibração do aparelho no início do trabalho, tendo dois pontos de referência, o zero e o branco-padrão.

Para a demarcação dos pontos a serem avaliados, segue-se padronização de posicionamento, sendo este determinado por gravação a *laser* na peça amostrada ou máscara colocada sobre a amostra, após a etapa de polimento. Para cada amostra, foi produzido uma máscara, conforme ilustração da Figura 30.

As amostras submetidas ao processo de padronização de tingimento artificial, foram arbitrados cinco pontos por face, neste caso, dez por peça. Para a demarcação dos pontos, segue-se padronização de posicionamento, sendo um ponto próximo de cada gravação a laser, um ponto na posição central da face, em peças sem concavidade, e um par de pontos nas bordas ao lado do ponto central.

As amostras submetidas ao tingimento convencional local, foram demarcados dois pontos por face, com diâmetro de 6 mm, em peças sem concavidade superficial.

As amostras submetidas ao processo de otimização do tingimento artificial, foram demarcados dois pontos por face, com diâmetro de 6 mm, em peças sem concavidade superficial.

A leitura em espectrofotômetro é realizada no ponto demarcado, ou seja, dentro da área de 6,0 mm, definida pela marcação feita à *laser*. O ponto avaliado é o que melhor representa a característica principal da amostra, selecionada antes do tingimento.

Assim, com os dados gerados pelo equipamento, foram construídas as curvas de distribuição espectral para as sete cores, representadas pela média das medidas de cada categoria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva de distribuição de refletância espectral, representa a quantidade de energia refletida pela superfície por comprimento de onda do espectro visível, sendo que o eixo das abcissas Y, indica a quantidade de energia (refletância %) e o eixo das ordenadas X os valores de comprimento de onda.

Conforme analogia de Schumann (1985), pode interpretar que a cor é o resultado produzido pela vibração magnética de determinados comprimentos de onda. Porém, na percepção do olho humano, ocorre a detecção de comprimentos de onda em torno de 4000Å a 7000Å. Desta forma, a cor real medida em equipamentos específicos é diferente da cor percebida pelo olho humano, pois a cor se torna uma sensação na percepção humana.

A pesquisa aplicada resultou na otimização de métodos de tingimento nas cores preta, vermelha, verde e azul com reagentes e ácidos inorgânico, além das cores rosa, violeta e verde com reagentes orgânicos, a partir de ensaios de replicação e padronização.

Tanto a padronização, quanto a otimização dos sistemas de tingimentos para as sete cores avaliadas na pesquisa, foram balizadas pela quantificação de reagentes, a viabilidade técnica de redução de custos operacionais, considerando seus coeficientes de solubilidade e características físico-químicas dos reagentes, além da redução de energia agregada ao processo de beneficiamento.

Durante o desenvolvimento da pesquisa nas empresas locais, foi verificado que estas não possuem um sistema padronizado, tampouco ocorre a quantificação de reagentes. Assim, o beneficiamento mineral com tratamento químico e/ou térmico de gemas ocorre em diferentes tons para a mesma cor, ou ainda, em tons diferentes. Fato esse, geralmente associado com a diminuição do valor comercial das peças tingidas, além de não se obter cores de intensidade desejada, acarretando em desperdício de mão de obra e custos inerentes ao processo.

No sistema de coloração artificial padronizado com uso de ácidos inorgânicos, para obtenção das cores preta, verde, azul e vermelha, foi reduzido a quantidade de água no processo de lavagem e o processo de tingimento foi realizado “a frio”, ou seja, sem aquecimento durante a impregnação da solução tingidora na gema. No entanto, manteve-se o aquecimento durante a imersão das ágatas para a cores obtidas a partir de corantes orgânicos.

Na padronização, as quantidades mássicas de anilinas foram mantidas em conformidade com o processo industrial, porém ajustadas na otimização conforme o coeficiente de solubilidade de cada reagente, eliminando ou reduzindo o excedente que forma o corpo de fundo no sistema formado pelo soluto – solvente.

Com a redução e/ou eliminação da energia fornecida ao processo, não foi constatado perda de eficiência no tratamento químico das gemas, sendo obtidos resultados satisfatórios e ora superiores à qualidade obtida no tingimento convencional. Assim, o processo otimizado está em consonância com a sustentabilidade industrial e a viabilidade econômica, podendo contribuir no auxílio da redução de custos operacionais.

5.1. COLORAÇÃO ARTIFICIAL PRETA

Conforme descrito anteriormente, um objeto com a melhor cor preta possível, apresentaria valores de refletância próximos de 0%, para a faixa de comprimentos de onda visível (400 a 700 nm), conforme Figura 12.

Neste ensejo, os resultados obtidos para as amostras submetidas ao tingimento preto otimizado, constam nas Figuras 44 a 46, para a concentração 1; Figuras 47 a 49, para a concentração 2 e Figuras 50 a 52, para a concentração 3, sendo perceptível a evolução da intensidade da cor, após o polimento de cada peça, em todas as concentrações analisadas.



Figura 44. Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento preto, para a concentração 1.



Figura 45. Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 1.



Figura 46. Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 1.



Figura 47. Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento, para a concentração 2.



Figura 48. Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 2.



Figura 49. Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 2.



Figura 50. Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento, para a concentração 3.



Figura 51. Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 3.



Figura 52. Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em preto, na concentração 3.

A seguir, é apresentado a sequência de resultados obtidos durante o tratamento de ágatas para a cor preta, por empresa local, pelo processo industrial. Nas Imagens 53 a 55, pode ser visualizado as amostras submetidas ao respectivo tratamento.



Figura 53. Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento convencional em preto.



Figura 54. Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial convencional em preto.



Figura 55. Amostras de lâminas de ágata com numeração 1, da categoria “vidrada” (1V1 e 1V2), seguida da categoria “bandada” (1B1 e 1B2), “sal” (1S1e 1S2) e “massa” (1M1 e 1M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial convencional em preto.

As Figuras 56 a 58, representam a curva de distribuição espectral das amostras submetidas ao processo de tingimento em preto, por empresa local e ao tingimento otimizado em laboratório. Nas imagens, pode ser verificado a alteração das curvas, quando analisadas as representações gráficas antes do tingimento, após o tingimento e após o polimento das peças.

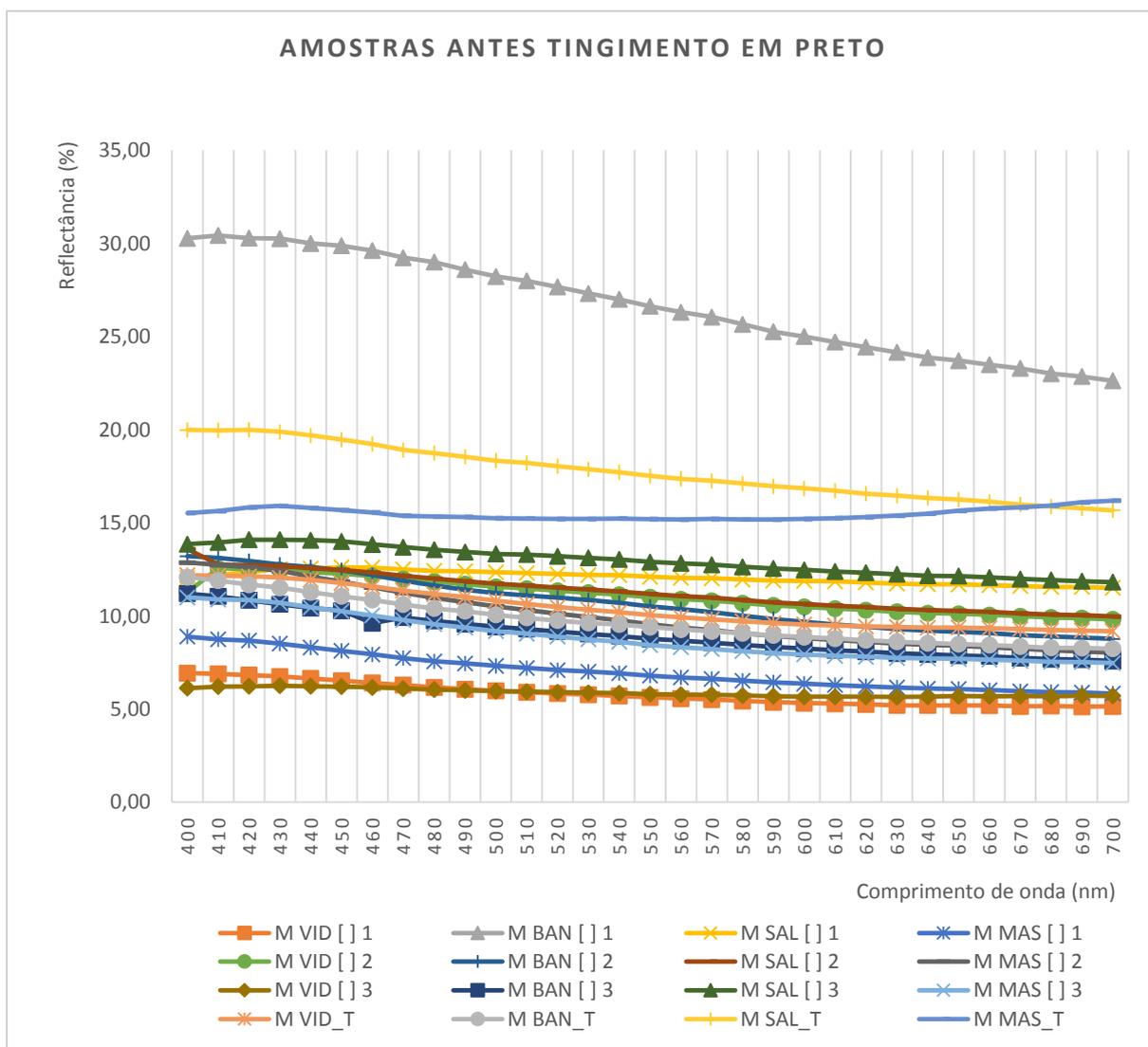


Figura 56. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento convencional e otimização do sistema de tingimento em preto para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas antes do tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa.

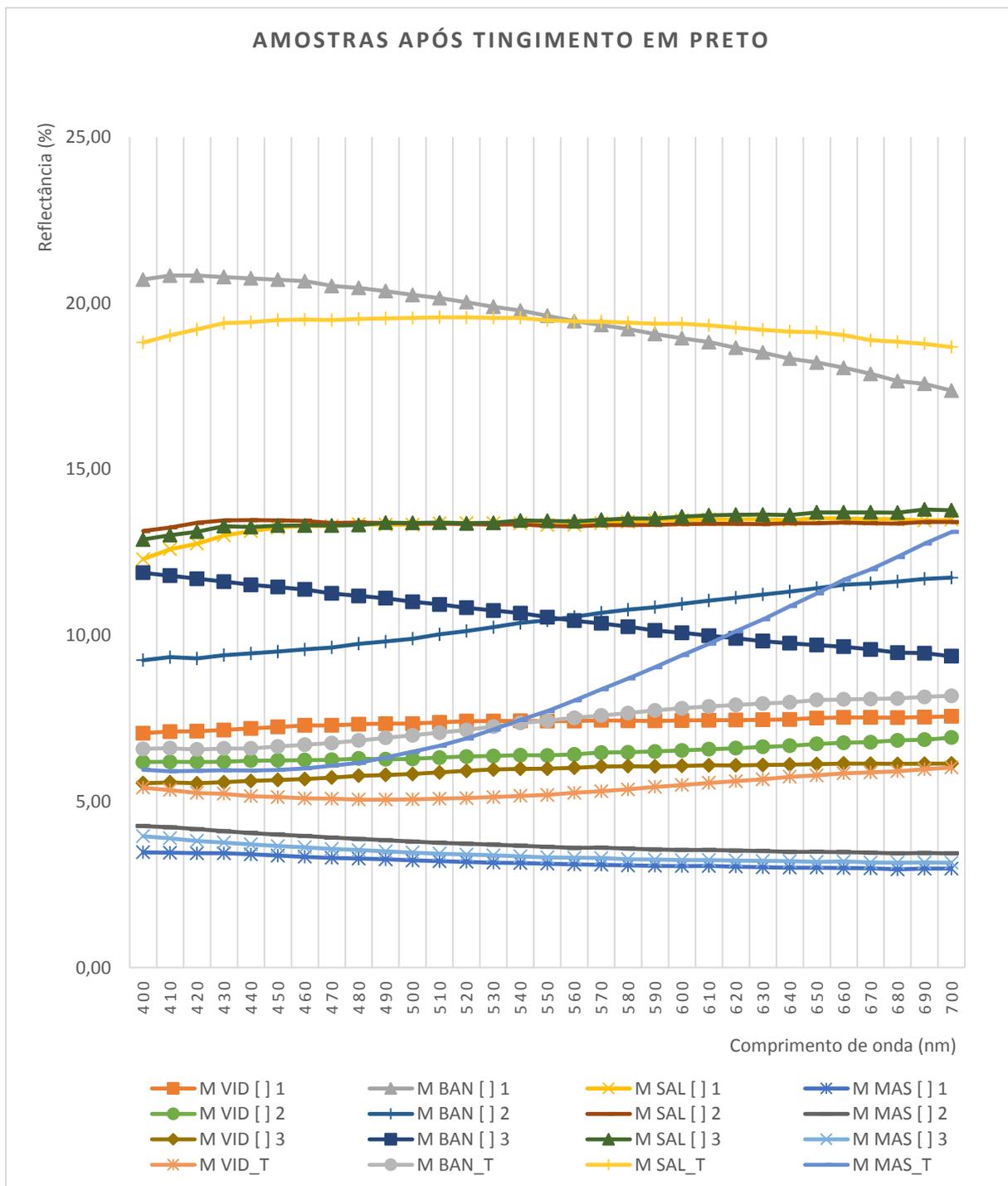


Figura 57. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento convencional e otimização do sistema de tingimento em preto para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas após o tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa.

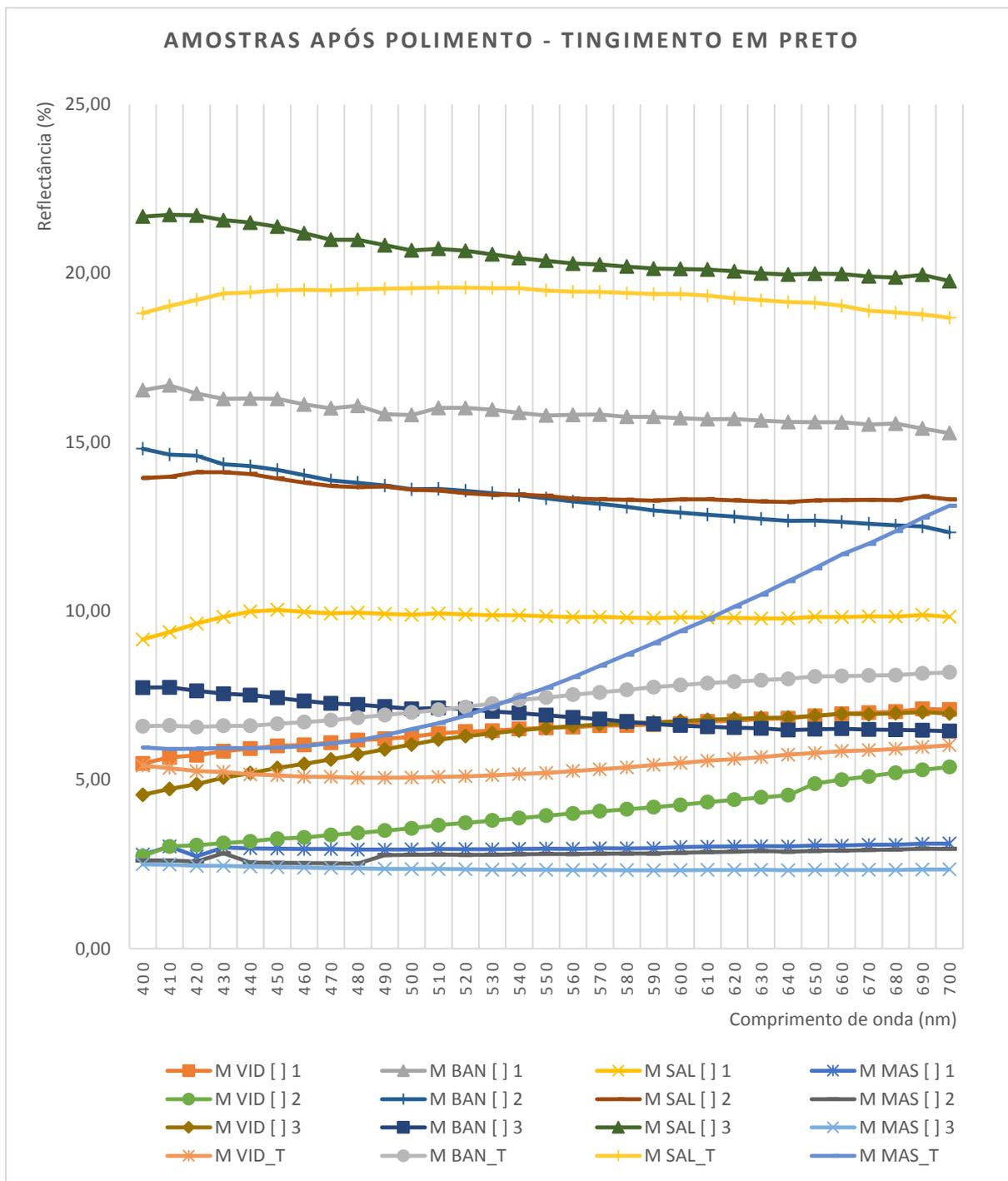


Figura 58. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento convencional e otimização do sistema de tingimento em preto para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas após polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa.

Ao interpretar as curvas de reflectância e o resultado das amostras submetidas ao tingimento em preto convencional, verifica-se que as peças da categoria massa apresentam cor visual marrom avermelhado cujo comportamento gráfico, para a última, revela tendência ao espectro do vermelho e amarelo, embora não as represente com exatidão.

Uma cor de espectro é uma cor que tem um comprimento de onda exclusivo no espectro do visível ou, ainda, que tem uma banda de comprimento de onda relativamente próximos, como é o caso das amostras da categoria massa (M MAS [] 1, M MAS [] 2 e M MAS [] 3), nas Figuras 57 e 58, as quais não são facilmente diferenciáveis. Fato esse comprovado também ao analisar visualmente as imagens das amostras tingidas em preto, nas três diferentes concentrações do processo otimizado.

Pela interpretação das figuras, pode ser verificado que as amostras da categoria massa (M MAS [] 1, M MAS [] 2 e M MAS [] 3), submetidas às concentrações 1, 2 e 3 da coloração otimizada preta, apresentaram as curvas de refletância mais próximas de 0%, tanto após o tingimento quanto polimento, divergente do resultado obtido para a mesma categoria do tingimento convencional.

A amostra da categoria massa, concentração 3, apresenta melhor resultado para a reflectância, quando comparada às demais, porém, ao observar o aspecto visual, não é possível tal percepção ao olho humano.

Para tanto, pode ser considerado que qualquer uma das três concentrações otimizadas pode servir para o tingimento em preto das amostras pré-classificadas nesta categoria, quando for considerado apenas o aspecto visual para esta cor.

No tingimento convencional, a proporção usada água/açúcar foi de 1:2, entretanto, no processo otimizado, usou-se as proporções de 1:0,5, 1:1 e 1:2, respectivamente, para as concentrações 1, 2 e 3. Com base nos resultados obtidos do tingimento preto otimizado, os mesmos são significativos quando comparado ao tingimento convencional, pois neste último não se verificou a cor preta nas amostras.

No entanto para as demais categorias submetidas ao tratamento otimizado, embora com espectro dentro do aceitável da cor preta, apresentam oscilações na curva de refletância após o polimento. Fato esse, não significativo para apresentar alteração na cor visual resultante, ou seja, preta. As peças tingidas pelo sistema convencional apresentaram cor final em tons de marrom avermelhado.

5.2. COLORAÇÃO ARTIFICIAL EM VERMELHO

A faixa de comprimento de onda entre 610 a 700 nm, corresponde a percepção da cor vermelha, para espectro da luz visível, conforme Figura 19 e 21 da curva de distribuição espectral, com refletância média de 0,5.

Assim, nas Figuras 59 a 61, tem-se os conjuntos de amostras submetidas ao tingimento em vermelho otimizado em laboratório, para as concentrações 1, na Figuras 62 a 64 para a concentração 2 e nas Figuras 65 e 67 para a concentração 3



Figura 59. Amostras de lâminas de ágata com numeração 9, da categoria “vidrada” (9V1 e 9V2), seguida da categoria “bandada” (9B1 e 9B2), “sal” (9S1e 9S2) e “massa” (9M1 e 9M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento, para a concentração 1.



Figura 60. Amostras de lâminas de ágata com numeração 9, da categoria “vidrada” (9V1 e 9V2), seguida da categoria “bandada” (9B1 e 9B2), “sal” (9S1e 9S2) e “massa” (9M1 e 9M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 1.



Figura 61. Amostras de lâminas de ágata com numeração 9, da categoria “vidrada” (9V1 e 9V2), seguida da categoria “bandada” (9B1 e 9B2), “sal” (9S1e 9S2) e “massa” (9M1 e 9M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 1.



Figura 62. Amostras de lâminas de ágata com numeração 10, da categoria “vidrada” (10V1 e 10V2), seguida da categoria “bandada” (10B1 e 10B2), “sal” (10S1e 10S2) e “massa” (10M1 e 10M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento vermelho, para a concentração 2.



Figura 63. Amostras de lâminas de ágata com numeração 10, da categoria “vidrada” (10V1 e 10V2), seguida da categoria “bandada” (10B1 e 10B2), “sal” (10S1e 10S2) e “massa” (10M1 e 10M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 2.



Figura 64. Amostras de lâminas de ágata com numeração 10, da categoria “vidrada” (10V1 e 10V2), seguida da categoria “bandada” (10B1 e 10B2), “sal” (10S1e 10S2) e “massa” (10M1 e 10M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 2.

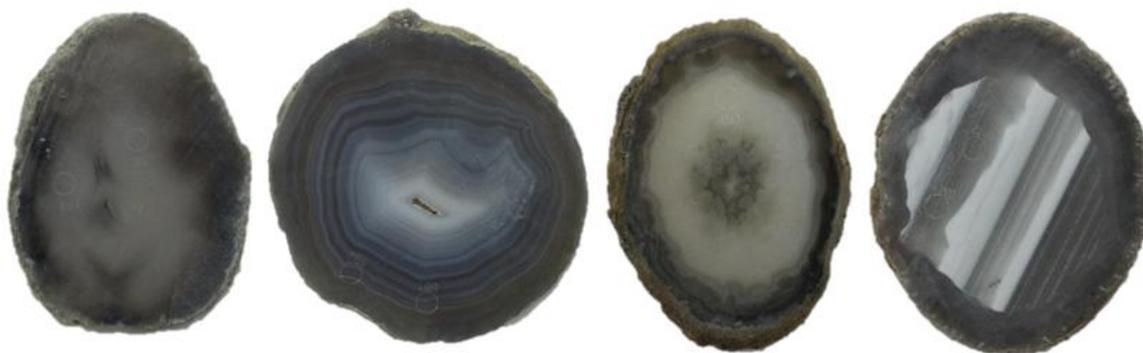


Figura 65. Amostras de lâminas de ágata com numeração 8, da categoria “vidrada” (8V1 e 8V2), seguida da categoria “bandada” (8B1 e 8B2), “sal” (8S1e 8S2) e “massa” (8M1 e 8M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento, para a concentração 3.



Figura 66. Amostras de lâminas de ágata com numeração 8, da categoria “vidrada” (8V1 e 8V2), seguida da categoria “bandada” (8B1 e 8B2), “sal” (8S1e 8S2) e “massa” (8M1 e 8M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 3.



Figura 67. Amostras de lâminas de ágata com numeração 8, da categoria “vidrada” (8V1 e 8V2), seguida da categoria “bandada” (8B1 e 8B2), “sal” (8S1e 8S2) e “massa” (8M1 e 8M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho, na concentração 3.

Nas Figuras 68 a 70, é possível identificar os conjuntos de amostras submetidas ao tingimento em vermelho realizada por empresa local, pelo método convencional.



Figura 68. Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em vermelho.



Figura 69. Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho em sistema comercial local.



Figura 70. Amostras de lâminas de ágata com numeração 2, da categoria “vidrada” (2V1 e 2V2), seguida da categoria “bandada” (2B1 e 2B2), “sal” (2S1e 2S2) e “massa” (2M1 e 2M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em vermelho em sistema comercial local.

Nas Figura 71 a 73, estão registradas as médias mensuradas para os comprimentos de onda e a refletância para as amostras submetidas à coloração artificial vermelha para ágatas, sendo medidas em espectrofotômetros antes do tingimento, após o tingimento e após o polimento das peças para cada uma das três concentrações avaliadas.

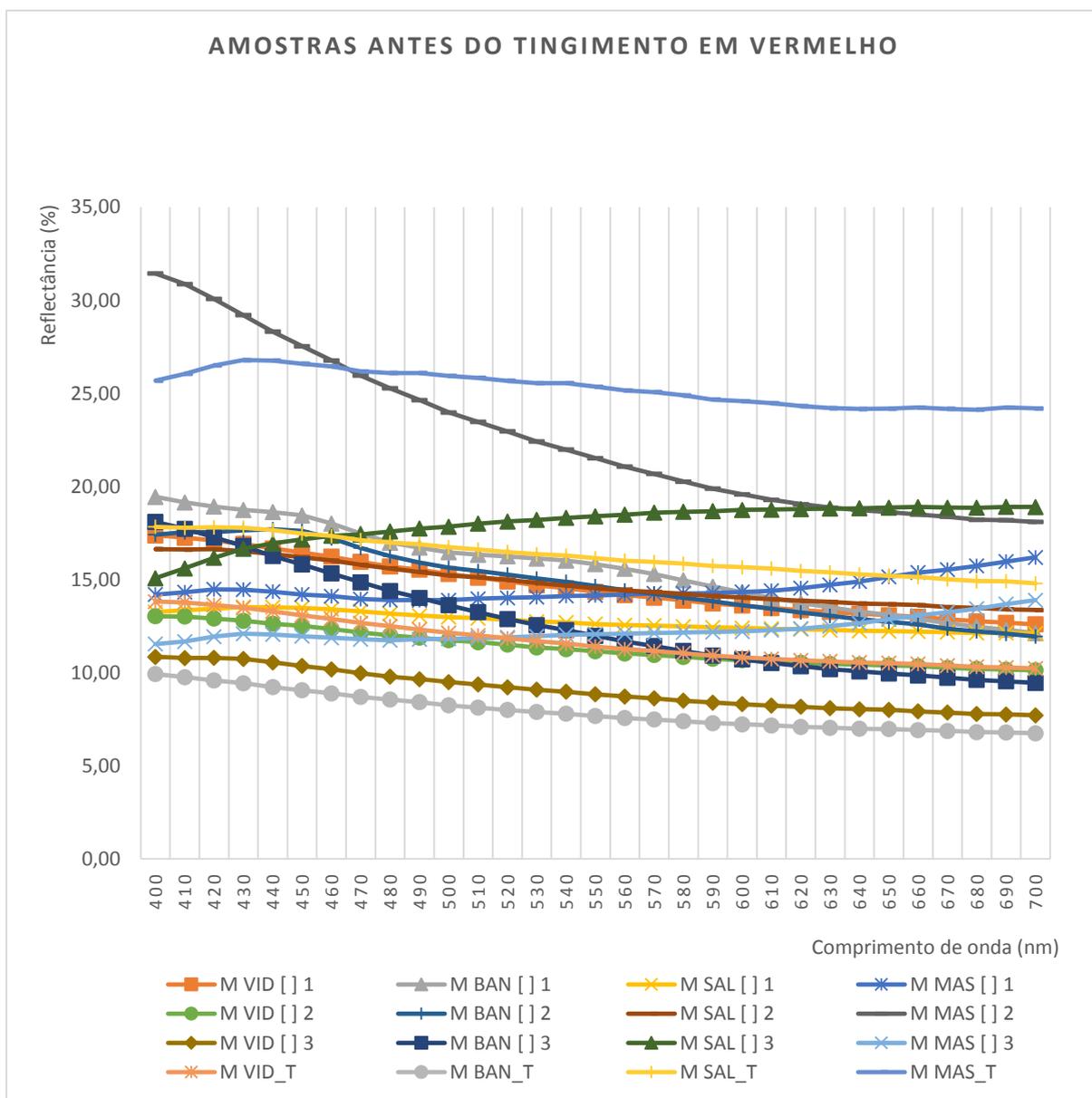


Figura 71. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em vermelho para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas anterior ao tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa.

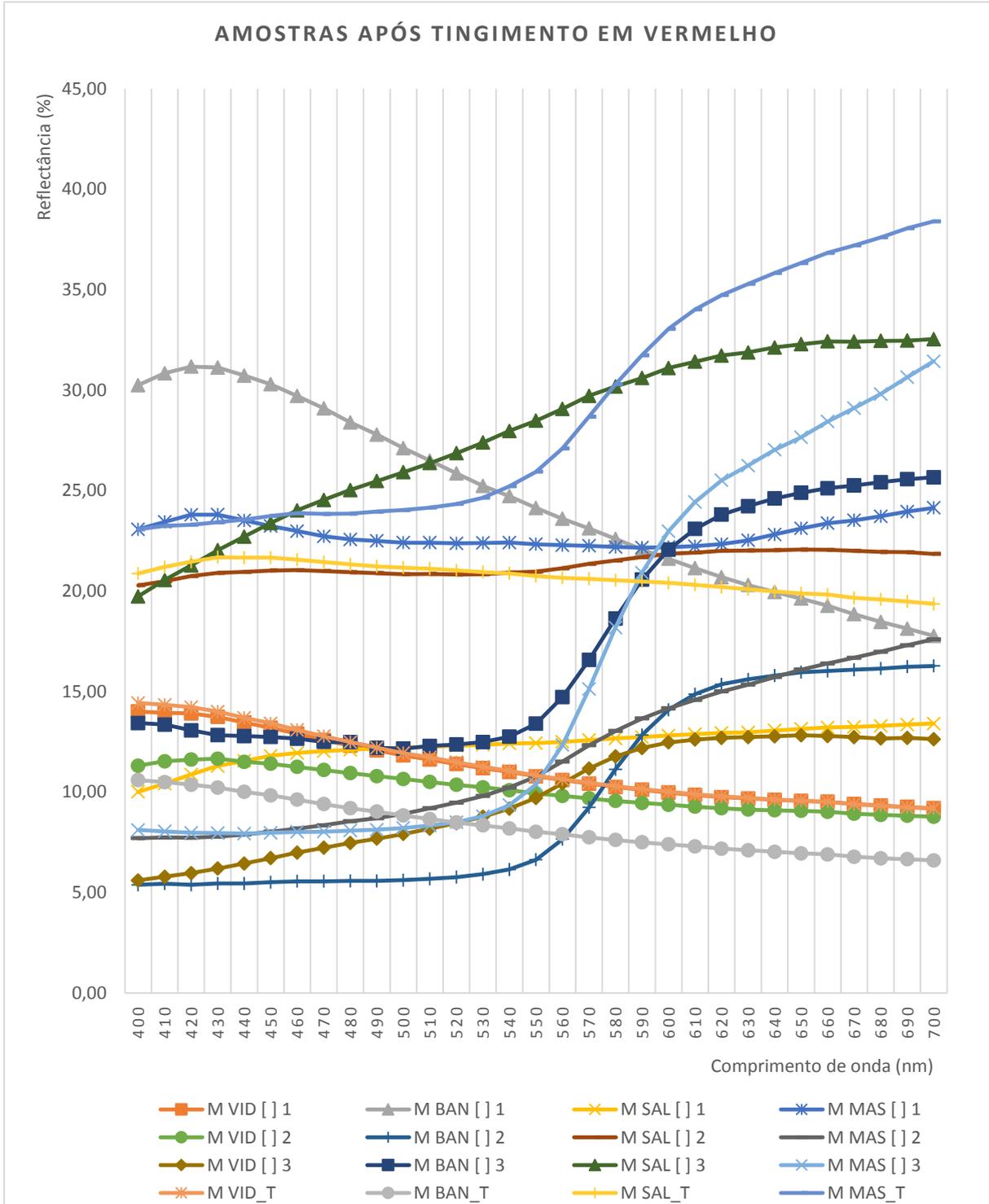


Figura 72. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em vermelho para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas após o tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa.

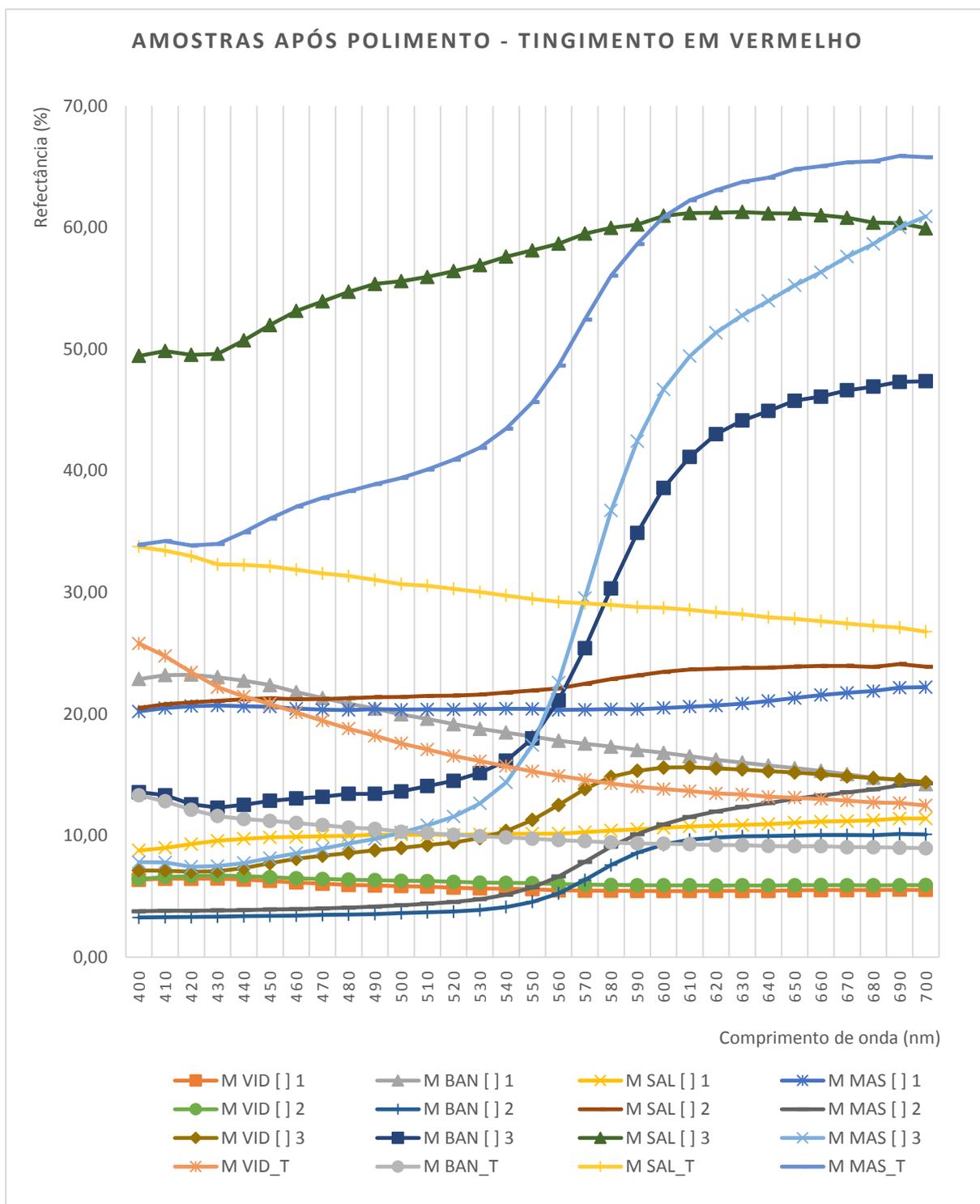


Figura 73. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em vermelho para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas após o polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa.

Pela interpretação das figuras acima, é possível verificar que as amostras da categoria massa e bandada, submetida à concentração 3 da coloração artificial vermelha, apresentaram as curvas de refletância mais próximas de 50%, dentro do respectivo comprimento de onda para o vermelho, tanto após o tingimento quanto polimento, seguidas das amostras da categoria massa e bandada submetida à concentração 2.

Para tanto, considera-se que as concentrações 2 e 3, podem servir para o tingimento em vermelho para amostras pré-classificadas nestas categorias. Não se obteve o mesmo resultado para as amostras submetidas à concentração 1.

Após o polimento das peças das categorias massa e bandada, submetidas à concentração 3, a refletância aumentou de aproximadamente 33% e 26% para 61% e 48%, respectivamente. Neste contexto, o polimento das amostras proporciona acentuação da cor visual e evolução da refletância, para os mesmos comprimentos de onda.

Ao interpretar as curvas de refletância e o resultado das amostras, as peças da categoria massa apresentam comprimento de onda para o vermelho, assim como os resultados em laboratório para padronização e otimização. Porém, o mesmo não ocorre para as amostras da categoria bandada, conforme resultados positivos para o tingimento padronizado e otimizado.

Considerando as amostras das categorias vidrada e sal, houve indicativo negativo em relação aos resultados, pois as amostras não sofrem alteração significativa de cor, tanto para o tingimento comercial local, quanto aos padronizados e otimizados em laboratório.

5.3. COLORAÇÃO ARTIFICIAL EM AZUL

Em relação às soluções tingidoras para a coloração azul, foi estabelecido a proporção em volume de 0,3:2 para o processo convencional, entre o “cianeto” e água. Contudo, no processo de otimização, a proporção 0,25:2 apresenta resultados mais acentuados que o processo convencional. Tal fato, pode estar diretamente ligado à baixa concentração de “cianeto”, tendo em vista que a solução pode estar abaixo da estimada. Concentração essa, desconhecida em funções dos inúmeros fatores listados anteriormente no estudo de caso e pesquisa *in loco* nos empreendimentos.

Nas Figuras 74 a 82, tem-se as imagens das amostras submetidas ao tingimento em azul otimizado em laboratório, para as três concentrações diferentes de solução tingidora.



Figura 74. Amostras de lâminas de ágata com numeração 11, da categoria “vidrada” (11V1 e 11V2), seguida da categoria “bandada” (11B1 e 11B2), “sal” (11S1e 11S2) e “massa” (11M1 e 11M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em azul, para a concentração 1.



Figura 75. Amostras de lâminas de ágata com numeração 11, da categoria “vidrada” (11V1 e 11V2), seguida da categoria “bandada” (11B1 e 11B2), “sal” (11S1e 11S2) e “massa” (11M1 e 11M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 1.

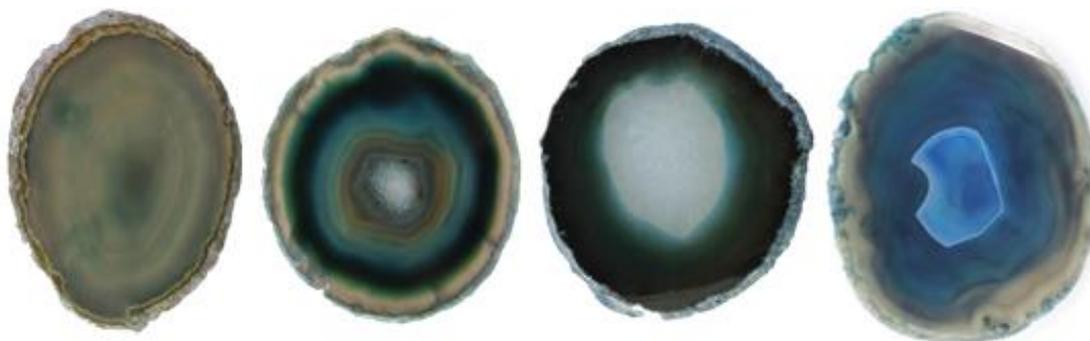


Figura 76. Amostras de lâminas de ágata com numeração 11, da categoria “vidrada” (11V1 e 11V2), seguida da categoria “bandada” (11B1 e 11B2), “sal” (11S1e 11S2) e “massa” (11M1 e 11M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 1.



Figura 77. Amostras de lâminas de ágata com numeração 12, da categoria “vidrada” (12V1 e 12V2), seguida da categoria “bandada” (12B1 e 12B2), “sal” (12S1e 12S2) e “massa” (12M1 e 12M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em azul, para a concentração 2.



Figura 78. Amostras de lâminas de ágata com numeração 12, da categoria “vidrada” (12V1 e 12V2), seguida da categoria “bandada” (12B1 e 12B2), “sal” (12S1e 12S2) e “massa” (12M1 e 12M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 2.



Figura 79. Amostras de lâminas de ágata com numeração 12, da categoria “vidrada” (12V1 e 12V2), seguida da categoria “bandada” (12B1 e 12B2), “sal” (12S1e 12S2) e “massa” (12M1 e 12M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 2.



Figura 80. Amostras de lâminas de ágata com numeração 13, da categoria “vidrada” (13V1 e 13V2), seguida da categoria “bandada” (13B1 e 13B2), “sal” (13S1e 13S2) e “massa” (13M1 e 13M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em azul, para a concentração 3.



Figura 81. Amostras de lâminas de ágata com numeração 13, da categoria “vidrada” (13V1 e 13V2), seguida da categoria “bandada” (13B1 e 13B2), “sal” (13S1e 13S2) e “massa” (13M1 e 13M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 3.



Figura 82. Amostras de lâminas de ágata com numeração 13, da categoria “vidrada” (13V1 e 13V2), seguida da categoria “bandada” (13B1 e 13B2), “sal” (13S1 e 13S2) e “massa” (13M1 e 13M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em azul, na concentração 3.

Nas Figuras 83 a 85, a seguir, tem-se as imagens das amostras submetidas ao tingimento convencional em azul, realizada por empresa local, para o conjunto de amostras contendo peças de todas as categorias.



Figura 83. Amostras de lâminas de ágata com numeração 3, da categoria “vidrada” (3V1 e 3V2), seguida da categoria “bandada” (3B1 e 3B2), “sal” (3S1e 3S2) e “massa” (3M1 e 3M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento azul convencional.



Figura 84. Amostras de lâminas de ágata com numeração 3, da categoria “vidrada” (3V1 e 3V2), seguida da categoria “bandada” (3B1 e 3B2), “sal” (3S1e 3S2) e “massa” (3M1 e 3M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em azul convencional.



Figura 85. Amostras de lâminas de ágata com numeração 3, da categoria “vidrada” (3V1 e 3V2), seguida da categoria “bandada” (3B1 e 3B2), “sal” (3S1e 3S2) e “massa” (3M1 e 3M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em azul convencional.

A faixa de comprimento de onda entre 450 a 495 nm, corresponde a percepção da cor azul, para espectro da luz visível, na faixa de 0,25 para reflectância, conforme Figura 20 e 21. Assim, nas Figuras 86 a 88, estão registradas as médias mensuradas para os comprimentos de onda e a refletância para as amostras submetidas à otimização da coloração artificial em azul para ágatas, sendo medidas em espectrofotômetros antes do tingimento, após o tingimento e após o polimento das peças.

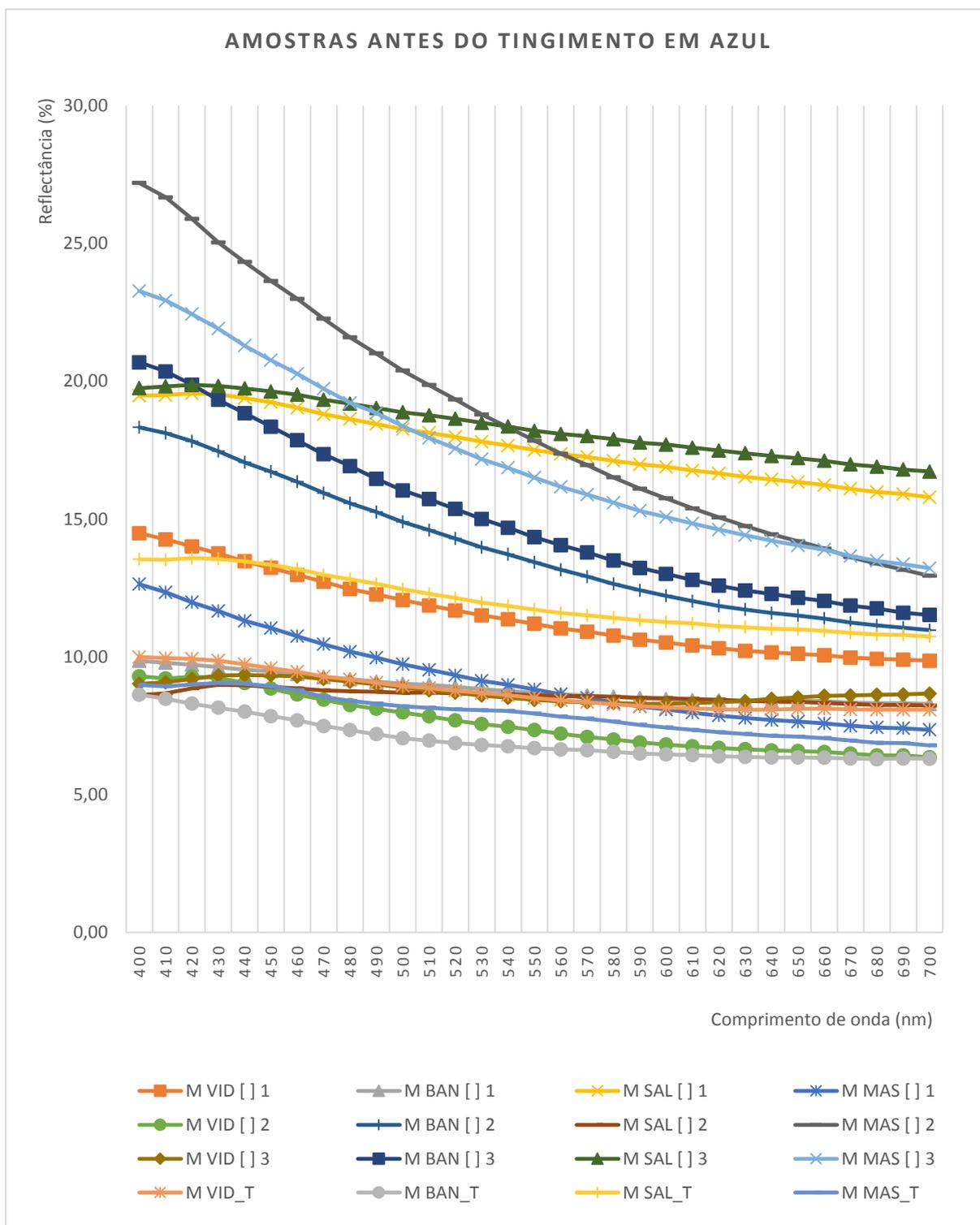


Figura 86. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em azul para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas anterior ao tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa.

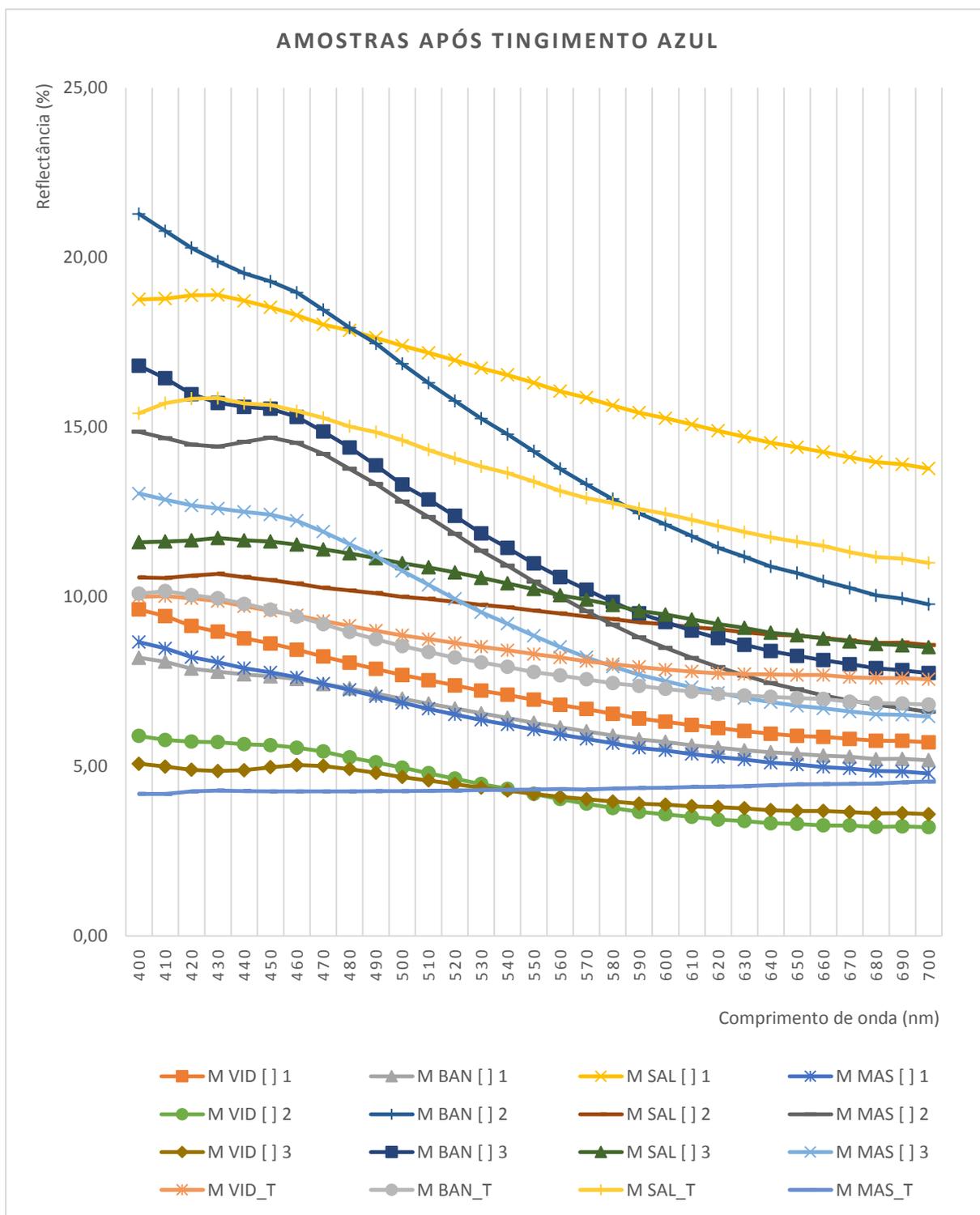


Figura 87. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em azul para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas após tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa.

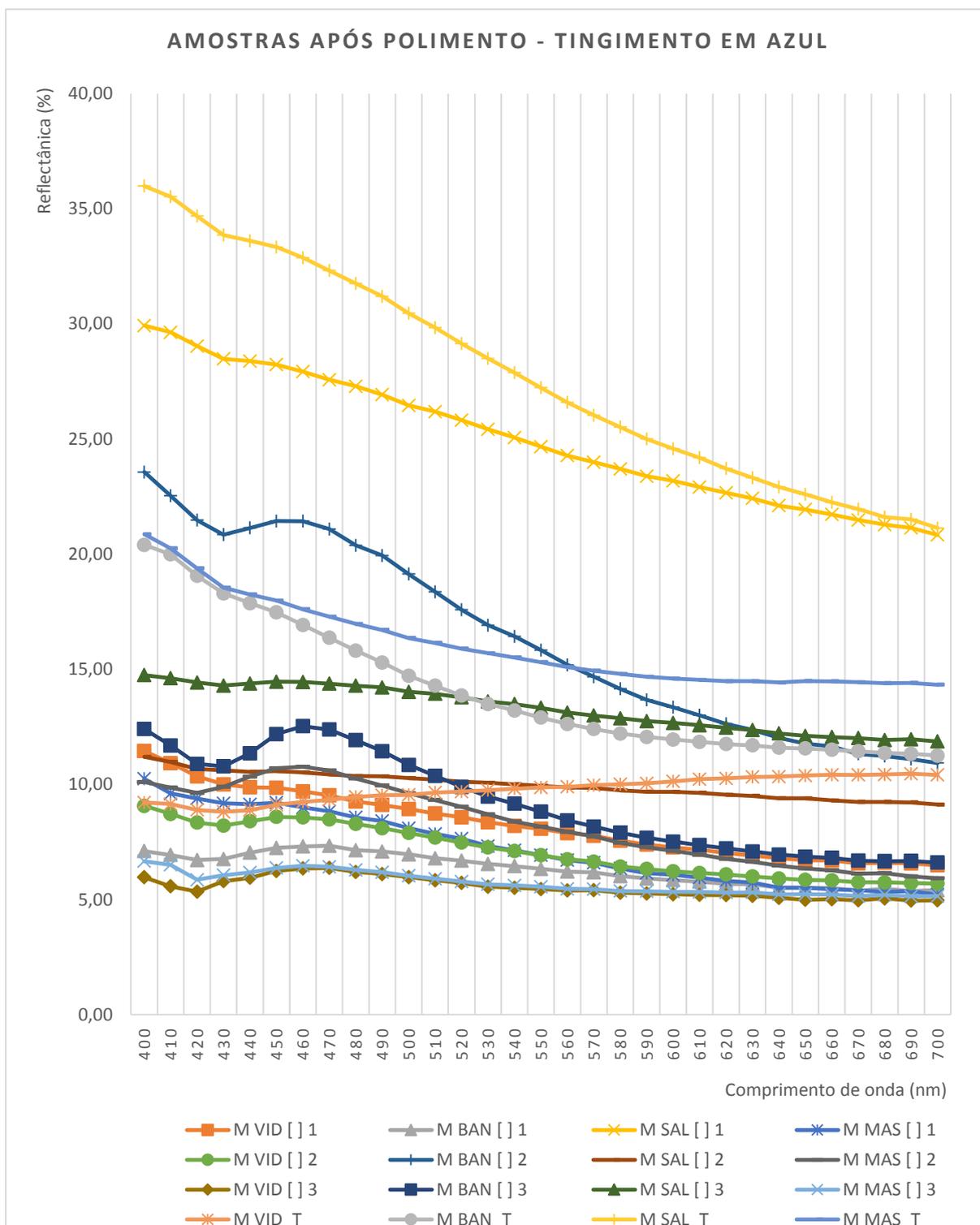


Figura 88. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em azul para as concentrações 1, 2 e 3 e ao tingimento convencional. Medidas realizadas após polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada. M BAN_T, média da categoria bandada. M SAL_T, média da categoria sal. M MAS_T, média da categoria massa.

Pela interpretação das figuras acima, é possível verificar que as amostras da categoria bandada, submetida à concentração 2 e 3 de coloração artificial azul, apresentaram as curvas de refletância para faixa próxima de 20%, após o tingimento, sendo que após polimento da amostra, apresentou valores acima dos 20% para a concentração 2.

Em seguida, com valores de refletância menores, as amostras da categoria massa (M MAS [] 1) e bandada (M BAN [] 3) submetida à concentração 1 e 3, respectivamente, apresentam valores entre 10,77 e 12,53%.

Para tanto, considera-se que as concentrações 2 e 3, podem servir para o tingimento eficiente em azul para amostras pré-classificadas nestas categorias, tendo em vista que a cor visual é azul, respeitando as características de cada categoria.

As amostras correspondentes a categoria massa e concentração 3 (M MAS [] 3) apresentaram reflectância próximas de 5%, descaracterizando a curva do azul. Provavelmente este fato está associado ao azul intenso que a amostra adquiriu após o tratamento, reduzindo a transparência da peça.

Os pontos avaliados para o padrão de deposição sal não apresentaram alterações significativas para a cor, assim, tal categoria não possui resultado positivo para o tratamento termoquímico em azul

Ao interpretar as curvas de refletância e o resultado visual das amostras submetidas ao tingimento convencional em azul, a cor final não foi satisfatória para nenhuma das categorias avaliadas, tampouco pode ser identificado com clareza o comprimento de onda para o azul, conforme Figura 95. E, considerando as amostras de todas as categorias, houve indicativo negativo em relação aos resultados, pois as estas não sofrem alteração significativa de cor.

5.4. COLORAÇÃO ARTIFICIAL EM VERDE

Para análise visual da coloração verde, as Figuras 89 a 97, representam as imagens das amostras submetidas ao tratamento verde otimizado em laboratório, para as três concentrações diferentes de solução tingidora.



Figura 89. Amostras de lâminas de ágata com numeração 14, da categoria “vidrada” (14V1 e 14V2), seguida da categoria “bandada” (14B1 e 14B2), “sal” (14S1e 14S2) e “massa” (14M1 e 14M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em verde, para a concentração 1.



Figura 90. Amostras de lâminas de ágata com numeração 14, da categoria “vidrada” (14V1 e 14V2), seguida da categoria “bandada” (14B1 e 14B2), “sal” (14S1e 14S2) e “massa” (14M1 e 14M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 1.



Figura 91. Amostras de lâminas de ágata com numeração 14, da categoria “vidrada” (14V1 e 14V2), seguida da categoria “bandada” (14B1 e 14B2), “sal” (14S1e 14S2) e “massa” (14M1 e 14M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 1.



Figura 92. Amostras de lâminas de ágata com numeração 15, da categoria “vidrada” (15V1 e 15V2), seguida da categoria “bandada” (15B1 e 15B2), “sal” (15S1e 15S2) e “massa” (15M1 e 15M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em verde, para a concentração 2.



Figura 93. Amostras de lâminas de ágata com numeração 15, da categoria “vidrada” (15V1 e 15V2), seguida da categoria “bandada” (15B1 e 15B2), “sal” (15S1e 15S2) e “massa” (15M1 e 15M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 2.



Figura 94. Amostras de lâminas de ágata com numeração 15, da categoria “vidrada” (15V1 e 15V2), seguida da categoria “bandada” (15B1 e 15B2), “sal” (15S1e 15S2) e “massa” (15M1 e 15M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 2.



Figura 95. Amostras de lâminas de ágata com numeração 16, da categoria “vidrada” (16V1 e 16V2), seguida da categoria “bandada” (16B1 e 16B2), “sal” (16S1e 16S2) e “massa” (16M1 e 16M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em verde, para a concentração 3.



Figura 96. Amostras de lâminas de ágata com numeração 16, da categoria “vidrada” (16V1 e 16V2), seguida da categoria “bandada” (16B1 e 16B2), “sal” (16S1e 16S2) e “massa” (16M1 e 16M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 3.



Figura 97. Amostras de lâminas de ágata com numeração 16, da categoria “vidrada” (16V1 e 16V2), seguida da categoria “bandada” (16B1 e 16B2), “sal” (16S1 e 16S2) e “massa” (16M1 e 16M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em verde, na concentração 3.

Quanto aos resultados do sistema de tingimento convencional, as Figuras 98 a 100, trazem as imagens das amostras submetidas à coloração em verde realizada por empresa local, com registros fotográficos antes do tingimento, após o tingimento e após o polimento.



Figura 98. Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em verde.



Figura 99. Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento, submetidas à pigmentação artificial em verde em sistema comercial local.



Figura 100. Amostras de lâminas de ágata com numeração 4, da categoria “vidrada” (4V1 e 4V2), seguida da categoria “bandada” (4B1 e 4B2), “sal” (4S1e 4S2) e “massa” (4M1 e 4M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas à pigmentação artificial em verde em sistema comercial local.

Ao comparar o resultado visual nas amostras, é perceptível que as categorias vidrada e bandada também apresentaram aceitação de coloração, mesmo em tons diferentes. Contudo, o comprimento de onda correspondente à cor verde foi definido somente para a categoria bandada.

O fato da categoria massa não apresentar alteração significativa de coloração está mais relacionada com as características geoquímicas da amostra que as características da categoria, pois no tingimento otimizado para a mesma categoria apresentou resultados satisfatórios.

A faixa de comprimento de onda entre 500 a 565 nm, corresponde a percepção da cor verde para espectro da luz visível, e pode ser compulsado nas Figura 18 e 21. Assim, o espectro do resultado obtido após o tratamento termoquímico pode ser verificado nas Figuras 101 a 103, correspondentes à leitura espectrofotométricas da amostragem antes do tingimento, depois do tingimento e após o polimento nas concentrações 1, 2 e 3 da solução tingidora verde e do processo industrial.

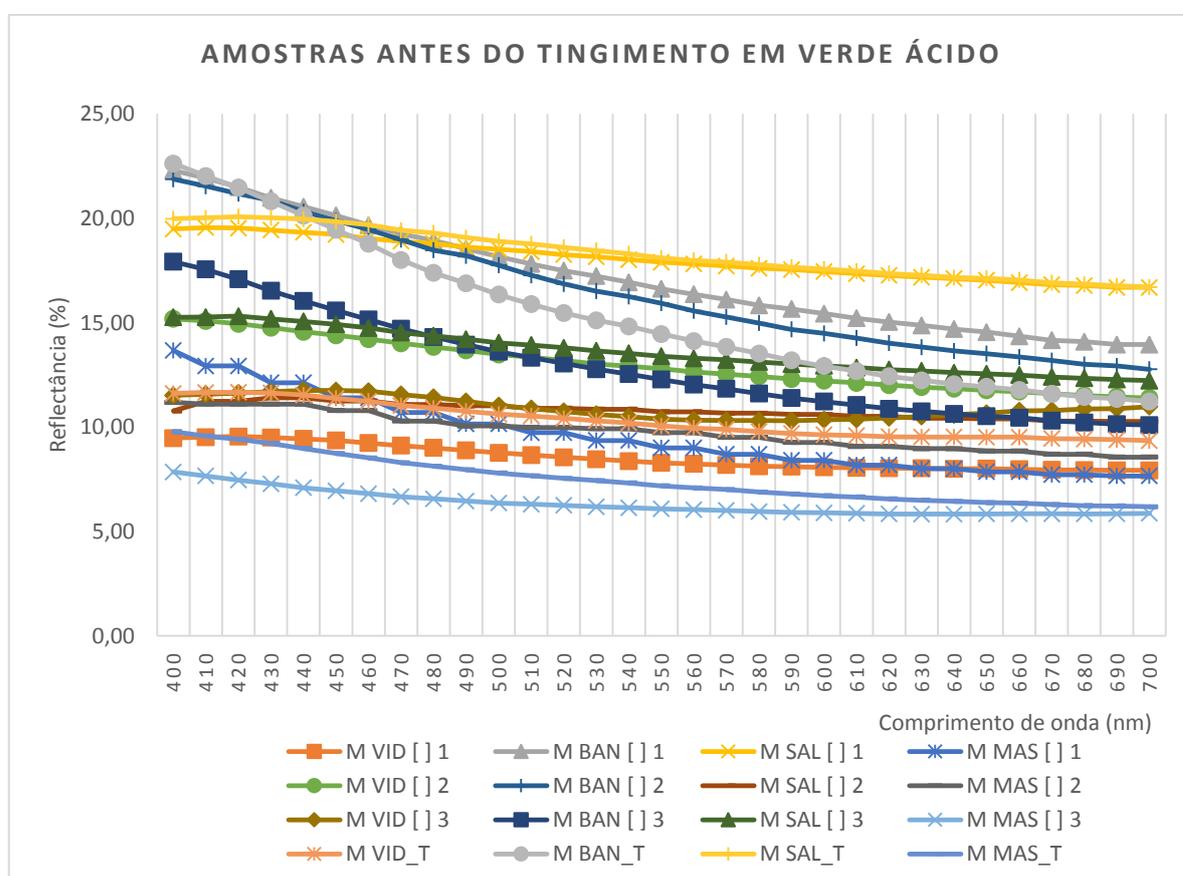


Figura 101. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em verde para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas anterior ao tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

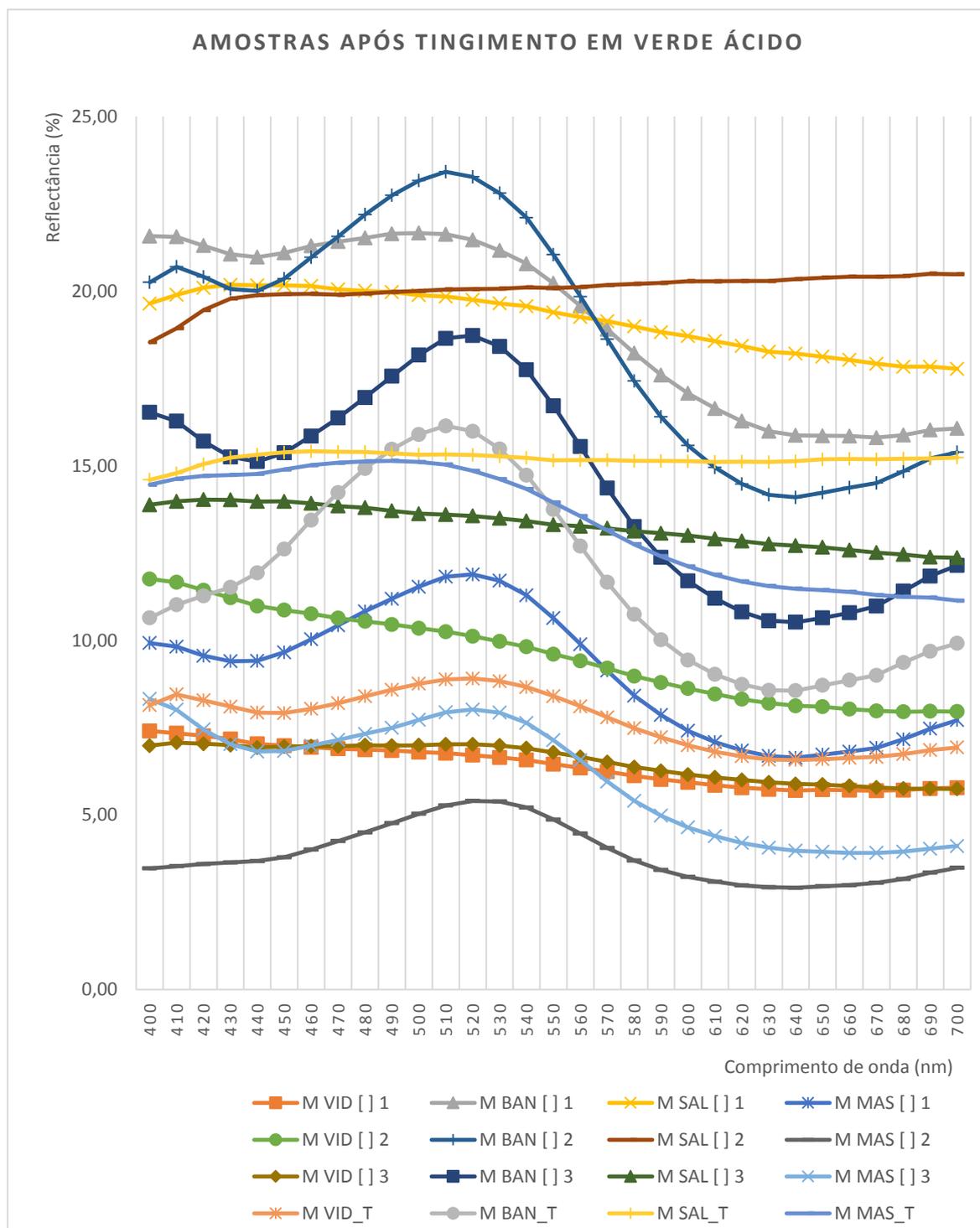


Figura 102. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em verde para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas após o tingimento e anterior ao polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

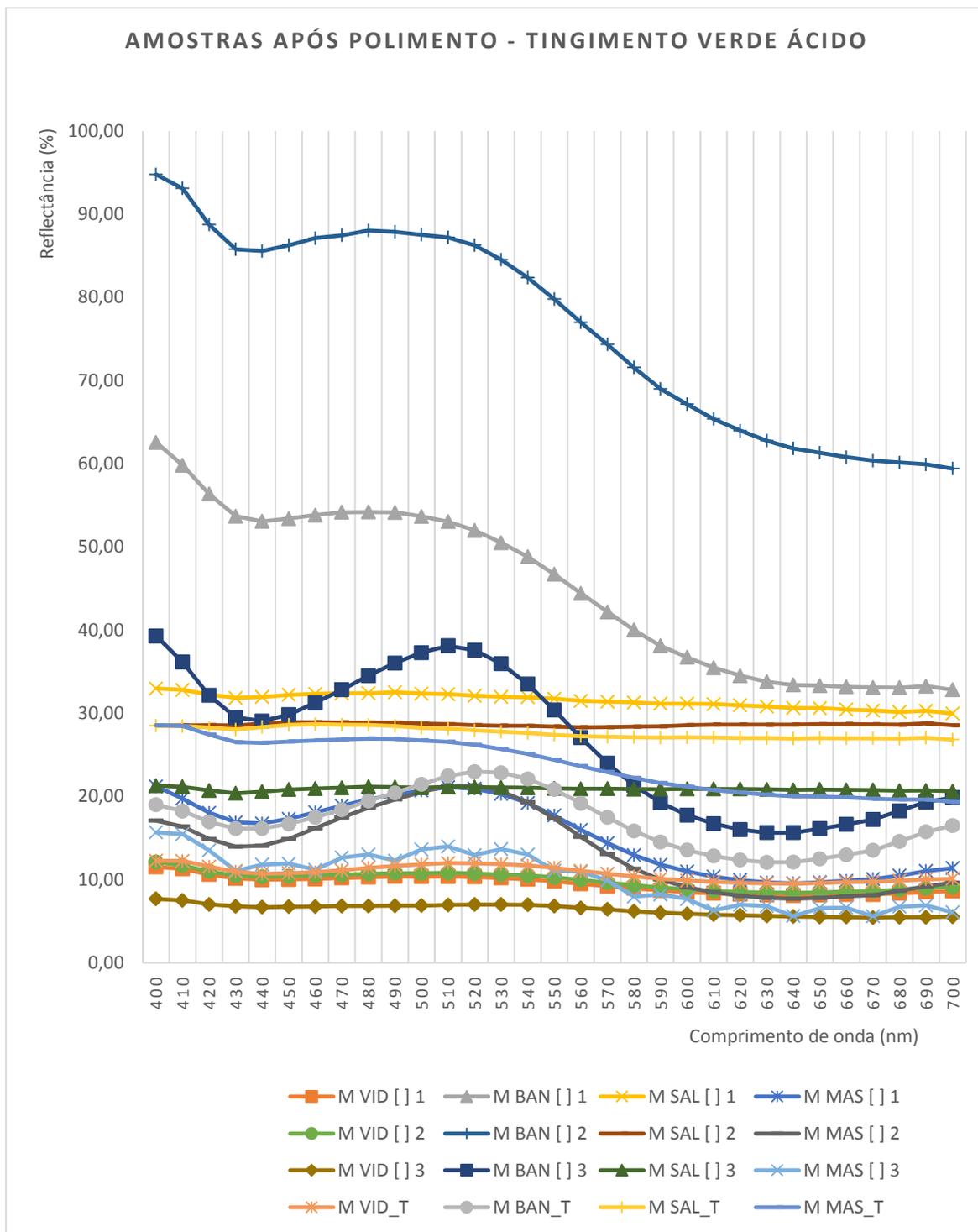


Figura 103. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas à otimização do sistema de tingimento em verde para as concentrações 1, 2 e 3. Medidas realizadas após o polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

Pela interpretação da Figura 103, é possível verificar que as amostras da categoria bandada, submetidas à concentração 2, seguida da concentração 1 e 3, respectivamente, apresentaram as curvas de refletância acima de 10% e comprimento de onda para o verde, após o tingimento. A categoria massa também apresenta comprimento de onda, assim como aspecto visual, correspondente ao verde.

Para tanto, considera-se que as concentrações 2 e 3, podem ser usadas para o tingimento em verde intenso para amostras pré-classificadas nestas categorias, assim como as demais, tendo em vista que, visualmente, o conjunto de amostras aceitaram a coloração, ressaltando as características pertinentes à cada categoria amostrada.

A coloração artificial em verde para a concentração 1, também, pode ser usada quando objetáveis tons de verde menos intenso, pois houve predominância de coloração verde na análise visual do conjunto de amostras.

Ao interpretar as curvas de refletância, pode ser verificado que as peças da categoria bandada apresentaram o melhor resultado quando analisado o comprimento de onda para o verde, revelando uma elevação nos valores de refletância após polimento. Tal fato também foi observado nas amostras submetidas à otimização do tingimento nas concentrações 1, 2 e 3.

Mesmo ocorrendo divergência em informações prestadas acerca dos reagentes e quantidades destes para composição da solução tingidora em verde, os conjuntos de amostras submetidas ao tingimento convencional e otimizado apresentaram resultados satisfatórios, salvo as características peculiares de cada categoria.

Desta forma, como não há estabelecimento de quantidades na preparação das soluções de óxido crômico e cloreto de amônio para o tingimento convencional. Na padronização e otimização foi possível determinar a quantidade destes, correlacionadas com a qualidade do tingimento, além da redução de energia agregada ao processo. Observa-se que ao aumentar a quantidade de cloreto de amônio, se obtém verde claro e o escurecimento desta cor ocorre pelo aumento da quantidade de cromo na solução.

5.5. COLORAÇÃO ARTIFICIAL ROSA (CORANTE ORGÂNICO)

As Figuras 104 a 118, representam as amostras submetidas ao tingimento em rosa otimizado em laboratório, a partir de corante orgânico, para as cinco concentrações diferentes. As concentrações 1, 2, 3 e 5 são a partir de solução alcoólica de Rodamina B e a concentração 4 de produto comercial, sem especificação de corante.



Figura 104. Amostras de lâminas de ágata com numeração 17, da categoria “vidrada” (17V1 e 17V2), seguida da categoria “bandada” (17B1 e 17B2), “sal” (17S1e 17S2) e “massa” (17M1 e 17M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em rosa orgânico, para a concentração 1.



Figura 105. Amostras de lâminas de ágata com numeração 17, da categoria “vidrada” (17V1 e 17V2), seguida da categoria “bandada” (17B1 e 17B2), “sal” (17S1e 17S2) e “massa” (17M1 e 17M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em rosa orgânico, para a concentração 1.



Figura 106. Amostras de lâminas de ágata com numeração 17, da categoria “vidrada” (17V1 e 17V2), seguida da categoria “bandada” (17B1 e 17B2), “sal” (17S1e 17S2) e “massa” (17M1 e 17M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 1, após polimento das peças.



Figura 107. Amostras de lâminas de ágata com numeração 18, da categoria “vidrada” (18V1 e 18V2), seguida da categoria “bandada” (18B1 e 18B2), “sal” (18S1e 18S2) e “massa” (18M1 e 18M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento em rosa orgânico, para a concentração 2.



Figura 108. Amostras de lâminas de ágata com numeração 18, da categoria “vidrada” (18V1 e 18V2), seguida da categoria “bandada” (18B1 e 18B2), “sal” (18S1e 18S2) e “massa” (18M1 e 18M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em rosa orgânico, para a concentração 2.



Figura 109. Amostras de lâminas de ágata com numeração 18, da categoria “vidrada” (18V1 e 18V2), seguida da categoria “bandada” (18B1 e 18B2), “sal” (18S1e 18S2) e “massa” (18M1 e 18M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 2, após polimento das peças.



Figura 110. Amostras de lâminas de ágata com numeração 19, da categoria “vidrada” (19V1 e 19V2), seguida da categoria “bandada” (19B1 e 19B2), “sal” (19S1e 19S2) e “massa” (19M1 e 19M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 3, antes do tingimento.



Figura 111. Amostras de lâminas de ágata com numeração 19, da categoria “vidrada” (19V1 e 19V2), seguida da categoria “bandada” (19B1 e 19B2), “sal” (19S1e 19S2) e “massa” (19M1 e 19M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 3, após tingimento das peças.



Figura 112. Amostras de lâminas de ágata com numeração 19, da categoria “vidrada” (19V1 e 19V2), seguida da categoria “bandada” (19B1 e 19B2), “sal” (19S1e 19S2) e “massa” (19M1 e 19M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 3, após polimento das peças.



Figura 113. Amostras de lâminas de ágata com numeração 5, da categoria “vidrada” (5V1 e 5V2), seguida da categoria “bandada” (5B1 e 5B2), “sal” (5S1e 5S2) e “massa” (5M1 e 5M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 4, antes do tingimento.



Figura 114. Amostras de lâminas de ágata com numeração 5, da categoria “vidrada” (5V1 e 5V2), seguida da categoria “bandada” (5B1 e 5B2), “sal” (5S1e 5S2) e “massa” (5M1 e 5M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 4, após tingimento das peças.



Figura 115. Amostras de lâminas de ágata com numeração 5, da categoria “vidrada” (5V1 e 5V2), seguida da categoria “bandada” (5B1 e 5B2), “sal” (5S1e 5S2) e “massa” (5M1 e 5M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 4, após polimento das peças.



Figura 116. Amostras de lâminas de ágata com numeração 110, da categoria “vidrada” (110V1 e 110V2), seguida da categoria “bandada” (110B1 e 110B2), “sal” (110S1e 110S2) e “massa” (110M1 e 110M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 5, antes do tingimento.



Figura 117. Amostras de lâminas de ágata com numeração 110, da categoria “vidrada” (110V1 e 110V2), seguida da categoria “bandada” (110B1 e 110B2), “sal” (110S1e 110S2) e “massa” (110M1 e 110M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 5, após tingimento das peças.



Figura 118. Amostras de lâminas de ágata com numeração 110, da categoria “vidrada” (110V1 e 110V2), seguida da categoria “bandada” (110B1 e 110B2), “sal” (110S1e 110S2) e “massa” (110M1 e 110M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em rosa orgânico, para a concentração 5, após polimento das peças.

Ao avaliar a cor como uma sensação, os melhores resultados para a coloração artificial rosa, foi atribuído para a categoria bandada e massa submetidas à concentração 5. Embora as amostras submetidas à concentração 4 apresentam resultado visual semelhante aos da concentração 5, porém, os comprimentos de onda são bem distintos ao comparar tais concentrações.

Neste sentido é importante salientar que a solução tingidora da concentração 4 foi elaborada a partir de corante adquirido no comércio local, sendo este o mesmo usado pelo setor mineral da região. O produto não apresenta especificação técnica sobre a composição ou pureza, podendo se deduzir que não se trata de um puro analítico, em função do valor em que é comercializado e falta de informações técnicas. Desta forma, o produto pode apresentar impurezas químicas e/ou associações de corantes que tendem a interferir no comprimento de onda da cor, como foi constatado nas representações gráficas da Figura 124.

A seguir, o resultado obtido pelo tingimento convencional local para as amostras de ágatas submetidas à coloração rosa, a partir de corante comercial, nas Figuras 119 a 121.



Figura 119. Amostras de lâminas de ágata com numeração 114, da categoria “vidrada” (114V1 e 114V2), seguida da categoria “bandada” (114B1 e 114B2), “sal” (114S1e 114S2) e “massa” (114M1 e 114M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento convencional em rosa, a base de corante orgânico.



Figura 120 Amostras de lâminas de ágata com numeração 114, da categoria “vidrada” (114V1 e 114V2), seguida da categoria “bandada” (114B1 e 114B2), “sal” (114S1e 114S2) e “massa” (114M1 e 114M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento convencional em rosa, a base de corante orgânico.



Figura 121. Amostras de lâminas de ágata com numeração 114, da categoria “vidrada” (114V1 e 114V2), seguida da categoria “bandada” (114B1 e 114B2), “sal” (114S1e 114S2) e “massa” (114M1 e 114M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento convencional em rosa, a base de corante orgânico, após polimento.

As figuras acima representam as amostras submetidas ao tingimento convencional, o qual se esperava ter resultado semelhante ao obtido nas amostras da concentração 4, considerando que o produto e suas proporções seriam iguais ou, no mínimo, semelhantes. Ademais, estas amostras foram tingidas com aquecimento, o que, em teoria, confere maior impregnação da cor em função da dilatação dos poros da gema, conforme resultados obtidos por Tubino (1998). No entanto, o mesmo não foi verificado.

Nas representações gráficas a seguir, é possível verificar nas Figuras 122 a 124, as curvas de reflectância para cada comprimento de onda das amostras submetidas ao processo otimizado de tingimento rosa e o processo convencional, ambos a partir de corantes orgânicos.

Ao avaliar o comportamento do comprimento de onda em função e reflectância foi observado que a curva mais relevante para a cor é para a média das amostras tingidas em rosa na concentração 5 (proporção mássica de 0,038:1 na relação soluto/solvente), para categorias bandada e massa. O processo de tingimento convencional apresentou comprimentos de onda semelhantes aos das concentrações 3 e 4, dependendo da categoria das amostras.

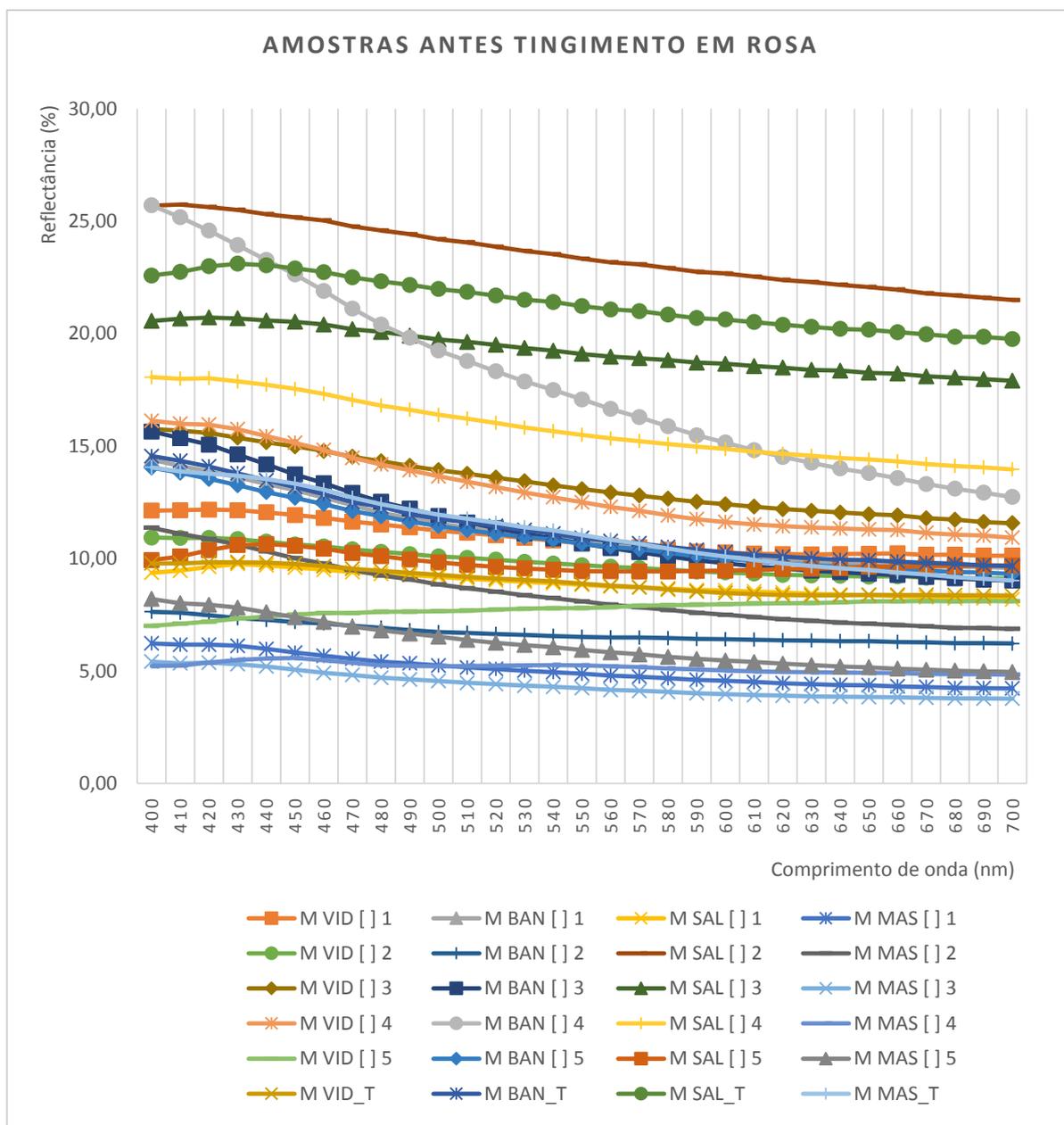


Figura 122. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em rosa, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas anterior tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

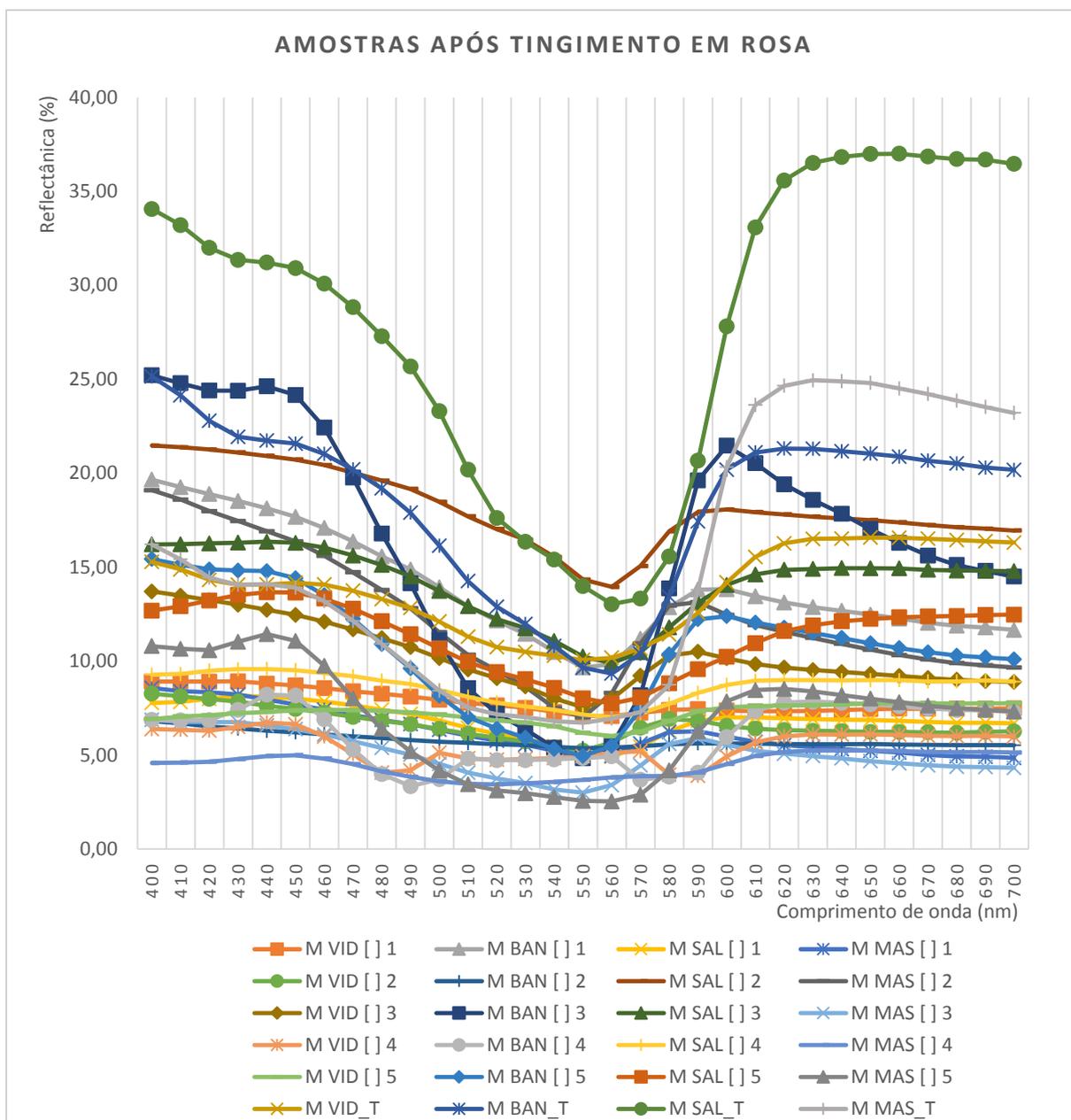


Figura 123. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em rosa, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

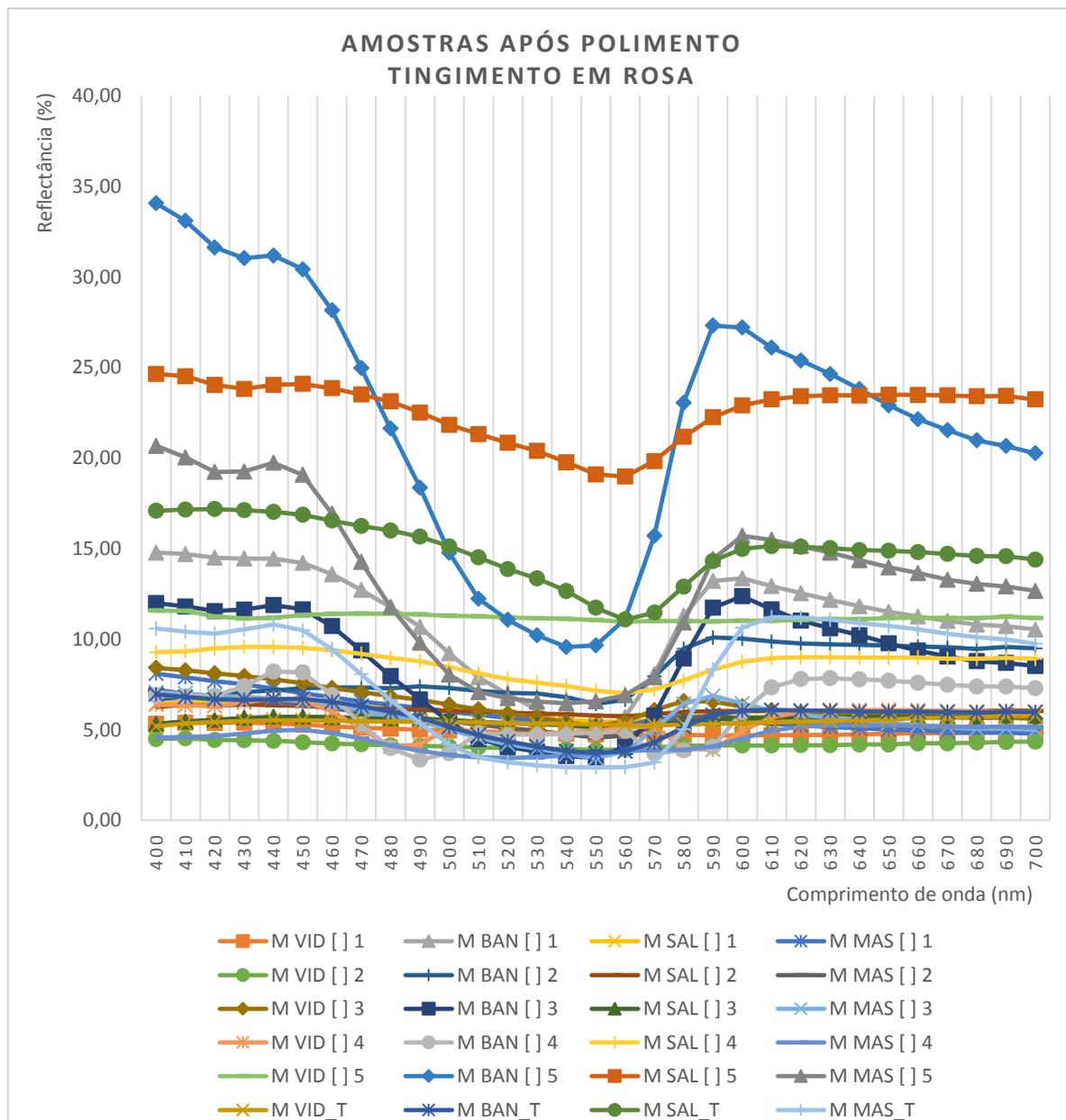


Figura 124 Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em rosa, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após polimento das peças tingidas. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

5.6. COLORAÇÃO ARTIFICIAL VERDE (CORANTE ORGÂNICO)

As Figuras 125 a 137, representam as amostras submetidas ao tingimento otimizado em verde, a partir de corante orgânico, para as cinco concentrações diferentes. As concentrações 1, 2, 3 e 4 são a partir de solução alcoólica de corante verde brilhante e a concentração 4 foi preparada a partir de corante comercial verde, sem especificação técnica.

Na análise do comportamento visual da cor das amostras, representadas pelas figuras a seguir, as quais indicam o tipo de tingimento recebido, pode ser verificado que a partir da concentração 4, ocorre maior eficiência no tingimento. Pois abaixo desta concentração, não se mantém qualidade no quesito cor.

Visualmente não é possível diferenciar os melhores resultados entre as concentrações 4, 5 e o tingimento convencional. Tais diferenças são perceptíveis somente ao avaliar os seus respectivos comprimentos de onda, Figuras 142 e 143.



Figura 125. Amostras de lâminas de ágata com numeração 20, da categoria “vidrada” (20V1 e 20V2), seguida da categoria “bandada” (20B1 e 20B2), “sal” (20S1e 20S2) e “massa” (20M1 e 20M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 1, antes do tingimento.



Figura 126. Amostras de lâminas de ágata com numeração 20, da categoria “vidrada” (20V1 e 20V2), seguida da categoria “bandada” (20B1 e 20B2), “sal” (20S1e 20S2) e “massa” (20M1 e 20M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 1, após tingimento das peças.



Figura 127. Amostras de lâminas de ágata com numeração 20, da categoria “vidrada” (20V1 e 20V2), seguida da categoria “bandada” (20B1 e 20B2), “sal” (20S1e 20S2) e “massa” (20M1 e 20M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 1, após polimento das peças.



Figura 128. Amostras de lâminas de ágata com numeração 21, da categoria “vidrada” (21V1 e 21V2), seguida da categoria “bandada” (21B1 e 21B2), “sal” (21S1e 21S2) e “massa” (21M1 e 21M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 2, após tingimento das peças.

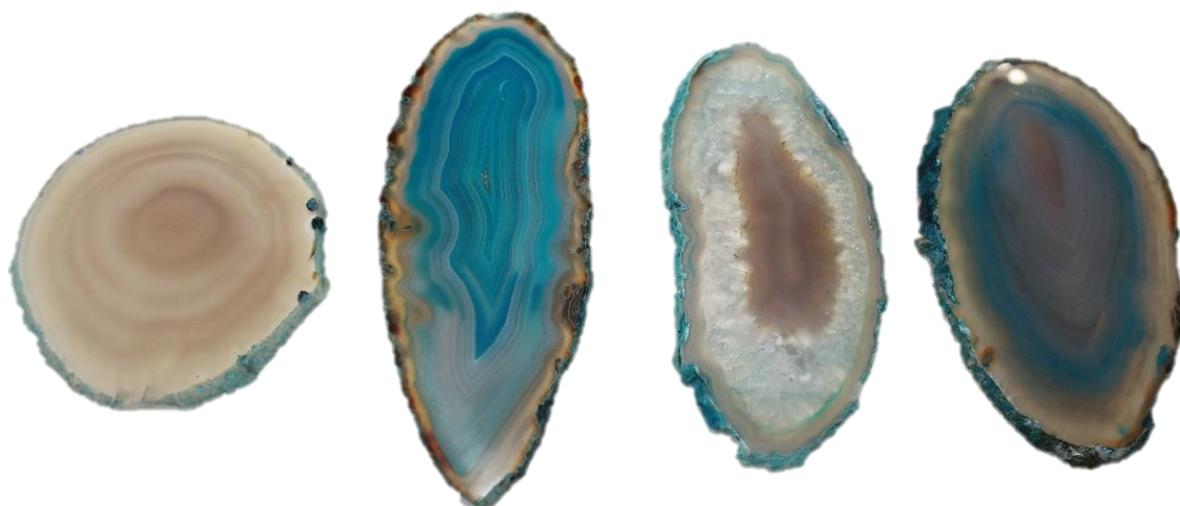


Figura 129. Amostras de lâminas de ágata com numeração 21, da categoria “vidrada” (21V1 e 21V2), seguida da categoria “bandada” (21B1 e 21B2), “sal” (21S1e 21S2) e “massa” (21M1 e 21M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 2, após polimento das peças.



Figura 130. Amostras de lâminas de ágata com numeração 22, da categoria “vidrada” (22V1 e 22V2), seguida da categoria “bandada” (22B1 e 22B2), “sal” (22S1e 22S2) e “massa” (22M1 e 22M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 3, após tingimento das peças.

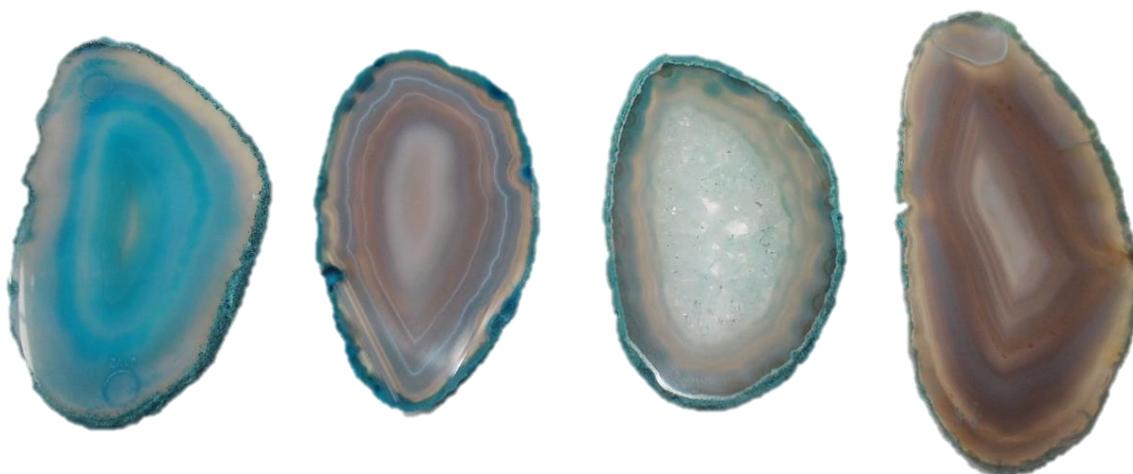


Figura 131. Amostras de lâminas de ágata com numeração 22, da categoria “vidrada” (22V1 e 22V2), seguida da categoria “bandada” (22B1 e 22B2), “sal” (22S1e 22S2) e “massa” (22M1 e 22M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 3, após polimento das peças.



Figura 132. Amostras de lâminas de ágata com numeração 7, da categoria “vidrada” (7V1 e 7V2), seguida da categoria “bandada” (7B1 e 7B2), “sal” (7S1e 7S2) e “massa” (7M1 e 7M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 4, antes do tingimento.



Figura 133. Amostras de lâminas de ágata com numeração 7, da categoria “vidrada” (7V1 e 7V2), seguida da categoria “bandada” (7B1 e 7B2), “sal” (7S1e 7S2) e “massa” (7M1 e 7M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 4, após tingimento das peças.



Figura 134. Amostras de lâminas de ágata com numeração 7, da categoria “vidrada” (7V1 e 7V2), seguida da categoria “bandada” (7B1 e 7B2), “sal” (7S1e 7S2) e “massa” (7M1 e 7M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 4, após polimento das peças



Figura 135. Amostras de lâminas de ágata com numeração 111, da categoria “vidrada” (111V1 e 111V2), seguida da categoria “bandada” (111B1 e 111B2), “sal” (111S1e 111S2) e “massa” (111M1 e 111M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 5, antes do tingimento das peças.

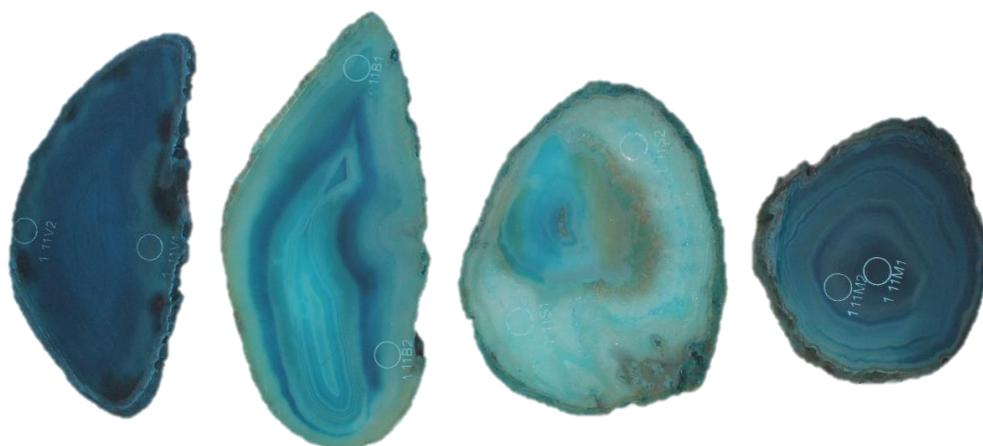


Figura 136. Amostras de lâminas de ágata com numeração 111, da categoria “vidrada” (111V1 e 111V2), seguida da categoria “bandada” (111B1 e 111B2), “sal” (111S1e 111S2) e “massa” (111M1 e 111M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 5, após tingimento das peças.

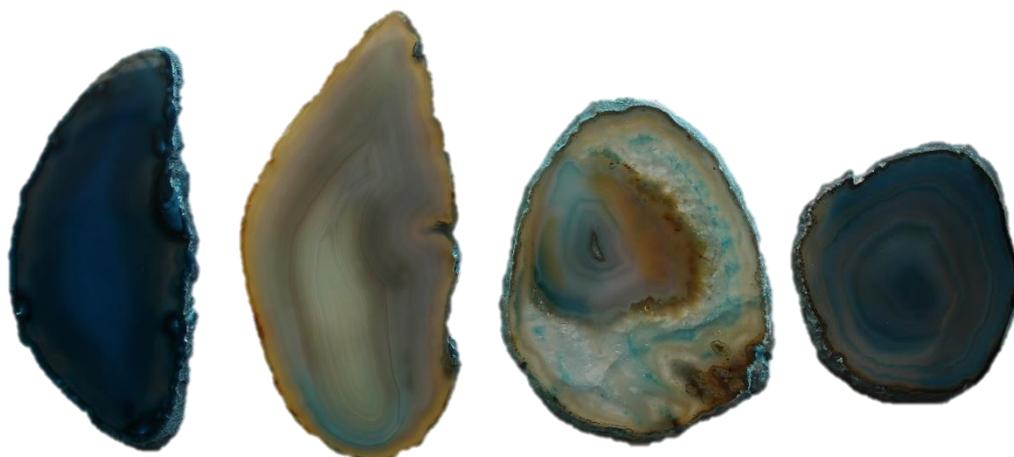


Figura 137. Amostras de lâminas de ágata com numeração 111, da categoria “vidrada” (111V1 e 111V2), seguida da categoria “bandada” (111B1 e 111B2), “sal” (111S1e 111S2) e “massa” (111M1 e 111M2), da esquerda para a direita. Amostras submetidas ao tingimento em verde orgânico, para a concentração 5, após polimento das peças.



Figura 138. Amostras de lâminas de ágata com numeração 117, da categoria “vidrada” (117V1 e 117V2), seguida da categoria “bandada” (117B1 e 117B2), “sal” (117S1e 117S2) e “massa” (117M1 e 117M2), da esquerda para a direita. Amostras originais submetidas ao tingimento convencional em verde, a partir de corantes orgânicos comerciais.

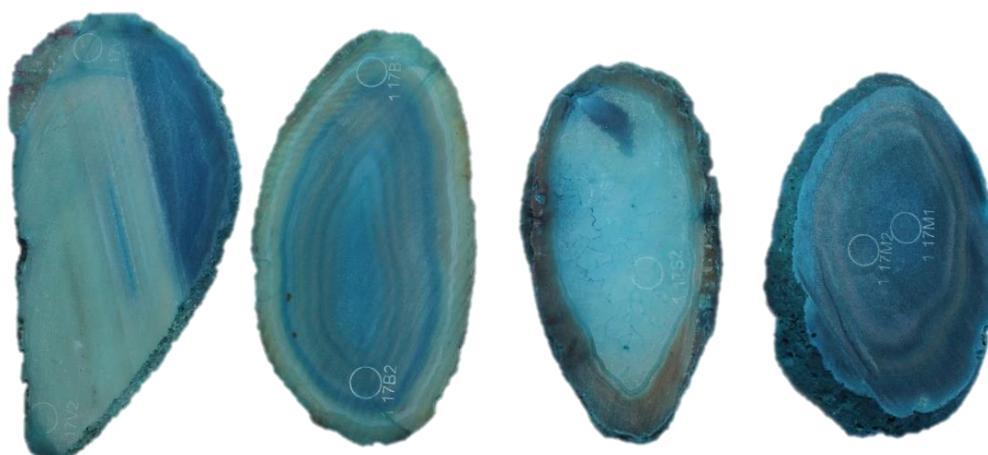


Figura 139. Amostras de lâminas de ágata com numeração 117, da categoria “vidrada” (117V1 e 117V2), seguida da categoria “bandada” (117B1 e 117B2), “sal” (117S1e 117S2) e “massa” (117M1 e 117M2), da esquerda para a direita. Amostras após o tingimento convencional em verde, a partir de corantes orgânicos comerciais.

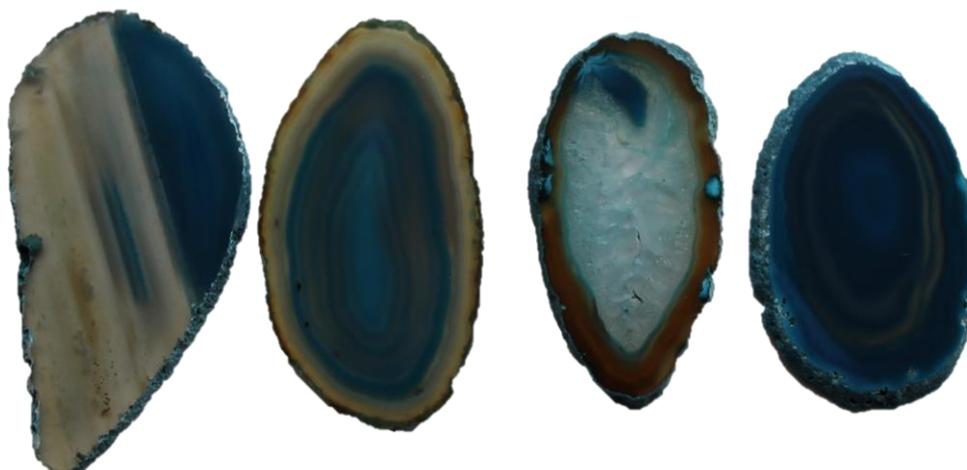


Figura 140. Amostras de lâminas de ágata com numeração 117, da categoria “vidrada” (117V1 e 117V2), seguida da categoria “bandada” (117B1 e 117B2), “sal” (117S1e 117S2) e “massa” (117M1 e 117M2), da esquerda para a direita. Amostras após o polimento, submetidas ao tingimento convencional em verde, a partir de corantes orgânicos comerciais.

As Figuras 138 a 140, acima, apresentam a evolução dos resultados para as amostras tratadas pelo sistema industrial para a coloração verde, a partir de corantes orgânicos, popularmente conhecidos como anilinas.

A seguir, tem-se as representações gráficas para as leituras em espectrofotômetro nas três etapas, sendo antes do tingimento (Figura 141), após o tingimento (Figura 142) e após o polimento (Figura 143).

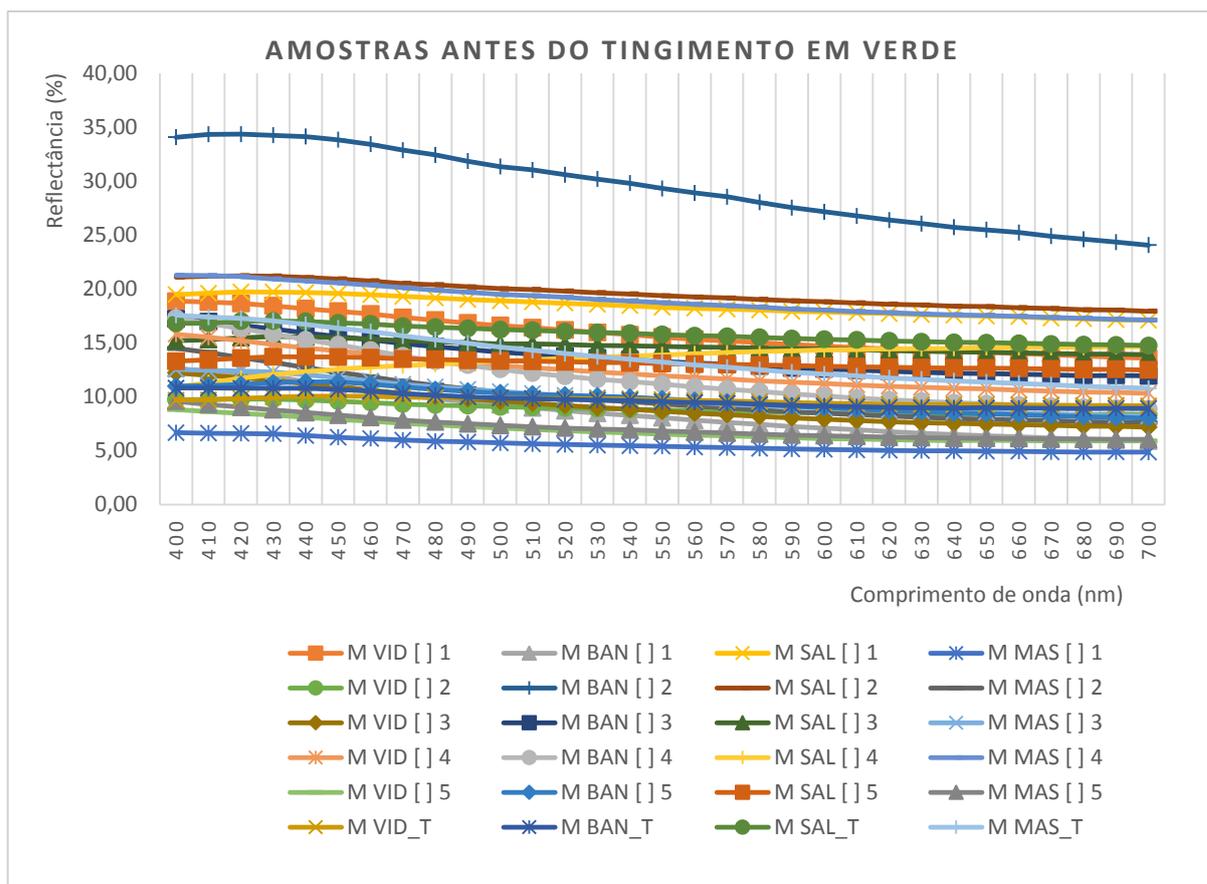


Figura 141. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em verde, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas anterior tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

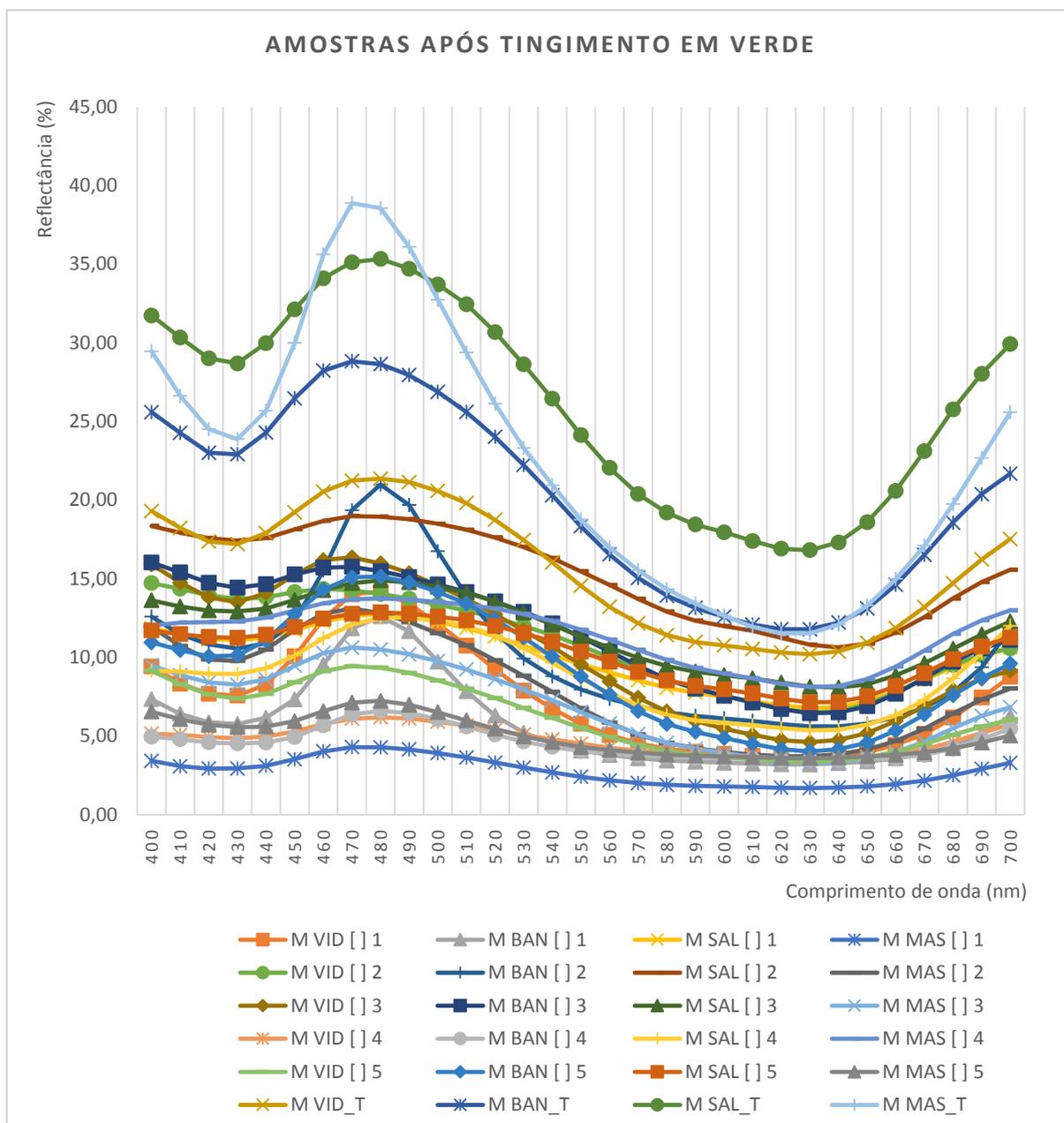


Figura 142. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em verde, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

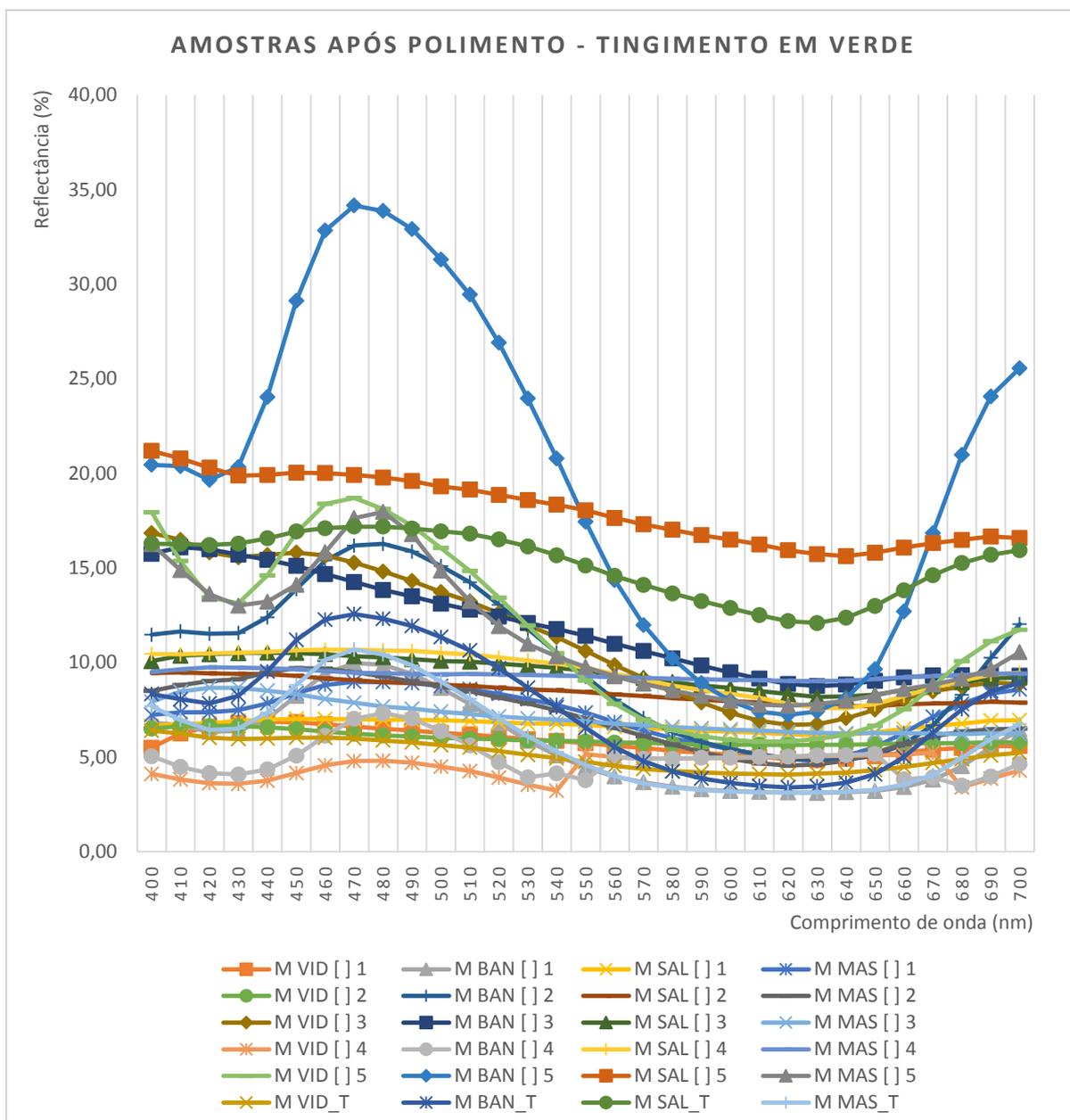


Figura 143. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em verde, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

Ao avaliar o comprimento de onda das amostras após o tingimento, foi possível determinar que, as que receberam o tingimento convencional obtiveram os melhores resultados, sendo o fato verificado em todas as categorias das amostras analisadas. Porém, após o polimento, observou-se a perda da coloração visual e, conseqüentemente, a alteração do comprimento de onda, indicando que o tingimento ocorreu apenas superficialmente nas gemas. A redução da intensidade da coloração também foi observada nas demais amostras.

Após o polimento, os resultados obtidos para o tingimento convencional foram semelhantes aos da concentração 4. Assim, os melhores resultados, conforme o comprimento de onda para a cor verde, foram atribuídos ao tingimento otimizado, na concentração 5, para amostras da categoria massa e vidrada.

5.7. COLORAÇÃO ARTIFICIAL VIOLETA (CORANTE ORGÂNICO)

A seguir, estão ilustradas nas Figuras 144 a 156, as amostras submetidas ao tingimento otimizado em violeta, a partir de corante orgânico, para as cinco concentrações. Para as concentrações 1, 2, 3 e 5 foram usados corante P.A. Cristal Violeta e a concentração 4, produto comercial.



Figura 144. Amostras de lâminas de ágata com numeração 23, da categoria “vidrada” (23V1 e 23V2), seguida da categoria “bandada” (23B1 e 23B2), “sal” (23S1e 23S2) e “massa” (23M1 e 23M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 1.

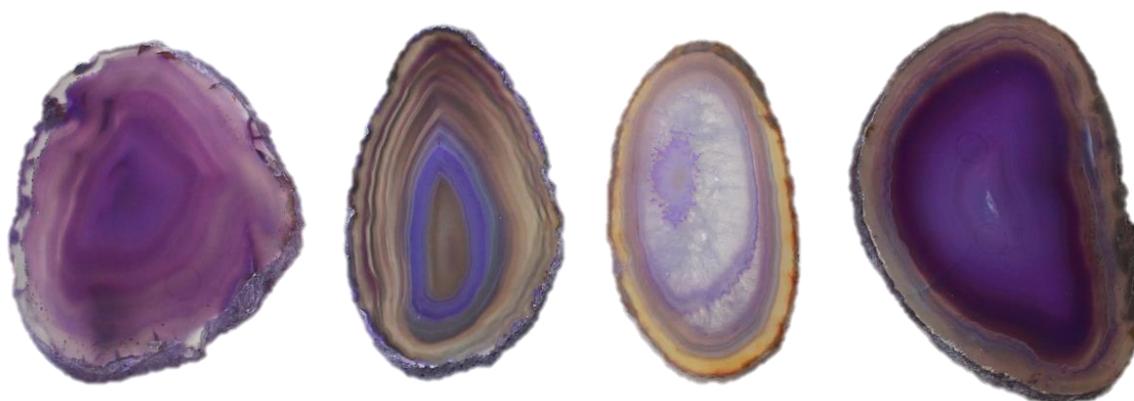


Figura 145. Amostras de lâminas de ágata com numeração 23, da categoria “vidrada” (23V1 e 23V2), seguida da categoria “bandada” (23B1 e 23B2), “sal” (23S1e 23S2) e “massa” (23M1 e 23M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 1.



Figura 146. Amostras de lâminas de ágata com numeração 24, da categoria “vidrada” (24V1 e 24V2), seguida da categoria “bandada” (24B1 e 24B2), “sal” (24S1e 24S2) e “massa” (24M1 e 24M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 2.

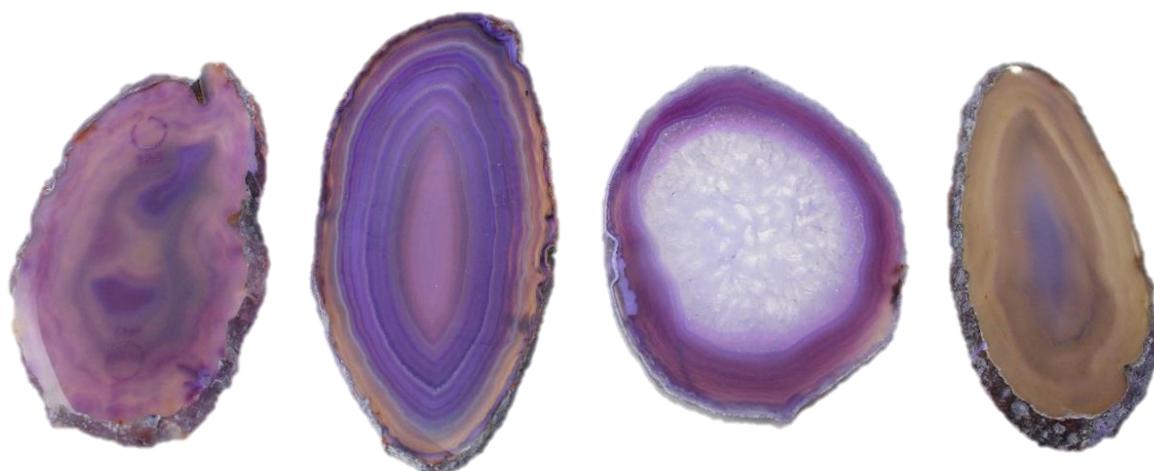


Figura 147. Amostras de lâminas de ágata com numeração 24, da categoria “vidrada” (24V1 e 24V2), seguida da categoria “bandada” (24B1 e 24B2), “sal” (24S1e 24S2) e “massa” (24M1 e 24M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 2.



Figura 148. Amostras de lâminas de ágata com numeração 25, da categoria “vidrada” (25V1 e 25V2), seguida da categoria “bandada” (25B1 e 25B2), “sal” (25S1e 25S2) e “massa” (25M1 e 25M2), da esquerda para a direita. Amostras anterior ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 3.



Figura 149. Amostras de lâminas de ágata com numeração 25, da categoria “vidrada” (25V1 e 25V2), seguida da categoria “bandada” (25B1 e 25B2), “sal” (25S1e 25S2) e “massa” (25M1 e 25M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 3.



Figura 150. Amostras de lâminas de ágata com numeração 25, da categoria “vidrada” (25V1 e 25V2), seguida da categoria “bandada” (25B1 e 25B2), “sal” (25S1e 25S2) e “massa” (25M1 e 25M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 3.



Figura 151. Amostras de lâminas de ágata com numeração 06, da categoria “vidrada” (06V1 e 06V2), seguida da categoria “bandada” (06B1 e 06B2), “sal” (06S1e 06S2) e “massa” (06M1 e 06M2), da esquerda para a direita. Amostras anterior ao tingimento em violeta, a partir de corantes orgânicos comerciais, na concentração 4.



Figura 152. Amostras de lâminas de ágata com numeração 06, da categoria “vidrada” (06V1 e 06V2), seguida da categoria “bandada” (06B1 e 06B2), “sal” (06S1e 06S2) e “massa” (06M1 e 06M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em violeta, a partir de corantes orgânicos comerciais, na concentração 4.

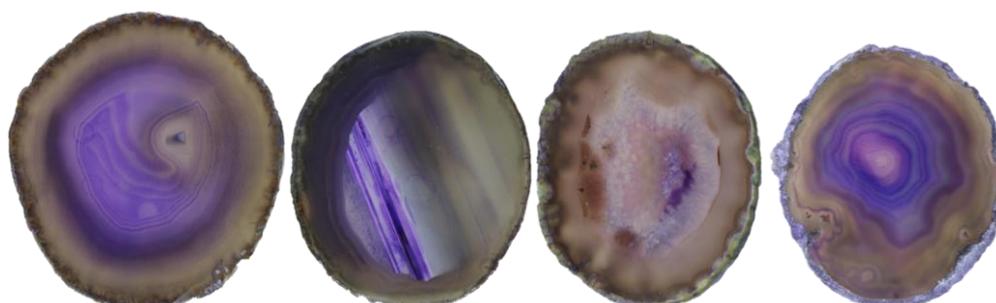


Figura 153. Amostras de lâminas de ágata com numeração 06, da categoria “vidrada” (06V1 e 06V2), seguida da categoria “bandada” (06B1 e 06B2), “sal” (06S1e 06S2) e “massa” (06M1 e 06M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a partir de corantes orgânicos comerciais, na concentração 4.



Figura 154. Amostras de lâminas de ágata com numeração 112, da categoria “vidrada” (112V1 e 112V2), seguida da categoria “bandada” (112B1 e 112B2), “sal” (112S1e 112S2) e “massa” (112M1 e 112M2), da esquerda para a direita. Amostras anterior ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 5.



Figura 155. Amostras de lâminas de ágata com numeração 112, da categoria “vidrada” (112V1 e 112V2), seguida da categoria “bandada” (112B1 e 112B2), “sal” (112S1e 112S2) e “massa” (112M1 e 112M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 5.

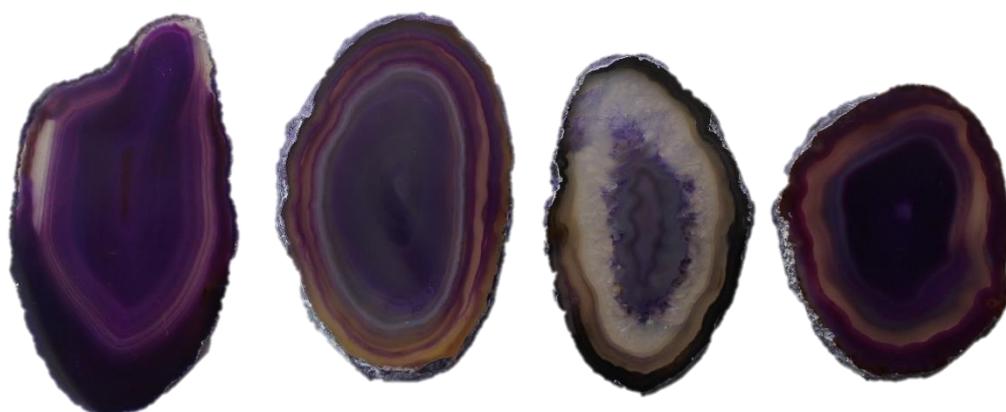


Figura 156. Amostras de lâminas de ágata com numeração 112, da categoria “vidrada” (112V1 e 112V2), seguida da categoria “bandada” (112B1 e 112B2), “sal” (112S1e 112S2) e “massa” (112M1 e 112M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a partir de corante orgânico, na concentração 5.

Visualmente não é possível diferenciar com precisão os resultados obtidos entre as concentrações 1, 2, 3 e 4 anterior ao polimento. No entanto, após polir as peças, a concentração 4 apresenta maior remoção da cor, sugerindo que a impregnação desta ocorreu predominantemente na superfície da ágata. Tais diferenças são mais salientes ao avaliar os seus comprimentos de onda, em espectrofotômetro.

As concentrações 1, 2 e 3, mesmo sendo baixas, também apresentaram resultado visual satisfatório para amostras da categoria massa, bandada e vidrada, sendo verificado que estas também mantiveram o mesmo padrão no quesito comprimento de onda.

O melhor resultado obtido na análise visual, foi para a concentração 5.

Nas Figuras 157 a 159, a seguir pode ser visualizado a sequência das amostras que foram submetidas ao tingimento convencional na coloração violeta.



Figura 157. Amostras de lâminas de ágata com numeração 115, da categoria “vidrada” (115V1 e 115V2), seguida da categoria “bandada” (115B1 e 115B2), “sal” (115S1e 115S2) e “massa” (115M1 e 115M2), da esquerda para a direita. Amostras antes do tingimento das peças submetidas ao tingimento convencional em roxo.



Figura 158. Amostras de lâminas de ágata com numeração 115, da categoria “vidrada” (115V1 e 115V2), seguida da categoria “bandada” (115B1 e 115B2), “sal” (115S1 e 115S2) e “massa” (115M1 e 115M2), da esquerda para a direita. Amostras após tingimento das peças submetidas à coloração convencional em roxo.

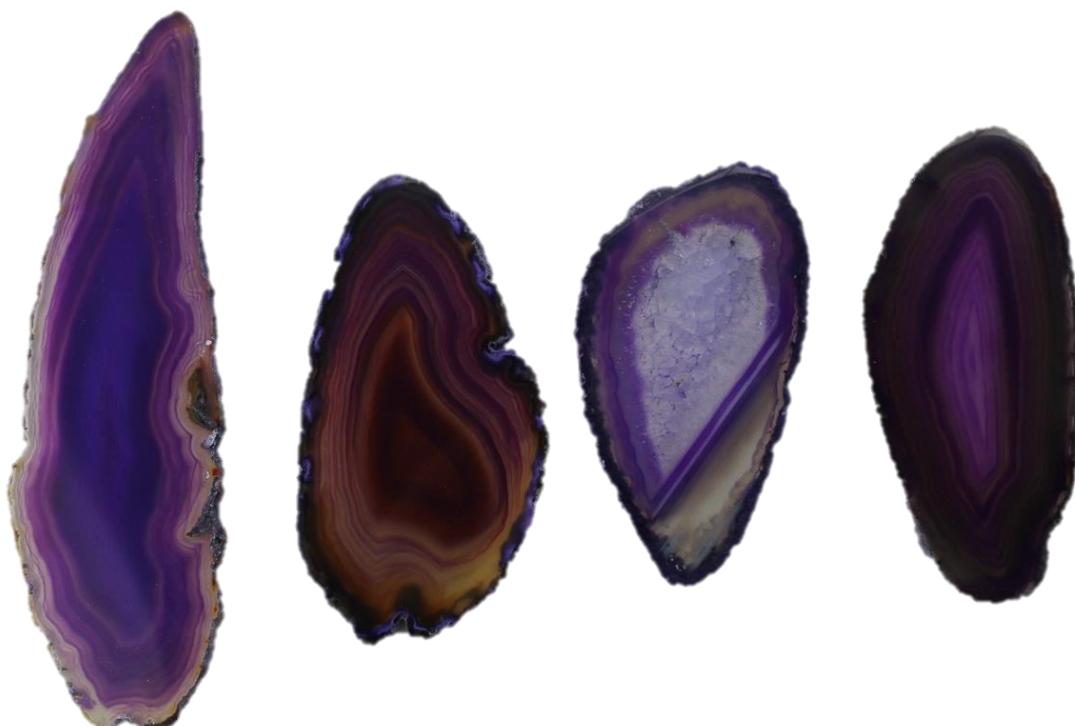


Figura 159. Amostras de lâminas de ágata com numeração 115, da categoria “vidrada” (115V1 e 115V2), seguida da categoria “bandada” (115B1 e 115B2), “sal” (115S1 e 115S2) e “massa” (115M1 e 115M2), da esquerda para a direita. Amostras após polimento das peças submetidas ao tingimento convencional em roxo.

Como o ocorrido na cor verde, o tratamento em violeta apresentou resultado semelhante pois o sistema convencional ficou entre os melhores resultados, após o tingimento, sendo o fato verificado em todas as categorias das amostras analisadas. Porém, após o polimento, foi observado a alteração do comprimento de onda e a redução na intensidade da cor visual, assim como nas demais amostras.

Após o polimento, observou-se os melhores resultados para a categoria massa e bandada da concentração 5, ao comparar os comprimentos de onda das amostras.

Nas Figuras 160 a 162, a seguir, pode ser observado com maior detalhamento os comprimentos de onda de todas as amostras avaliadas no processo.

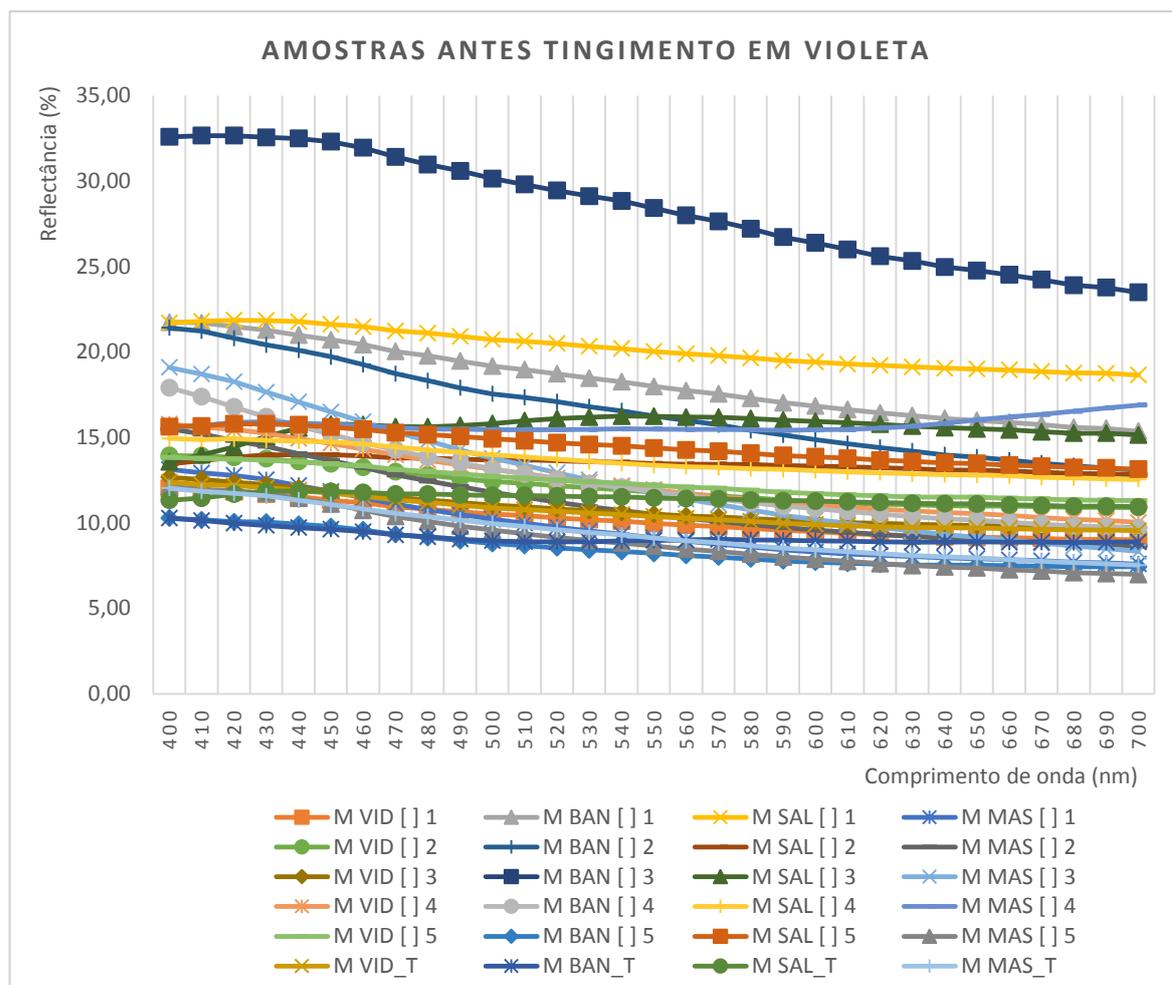


Figura 160. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas antes do tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

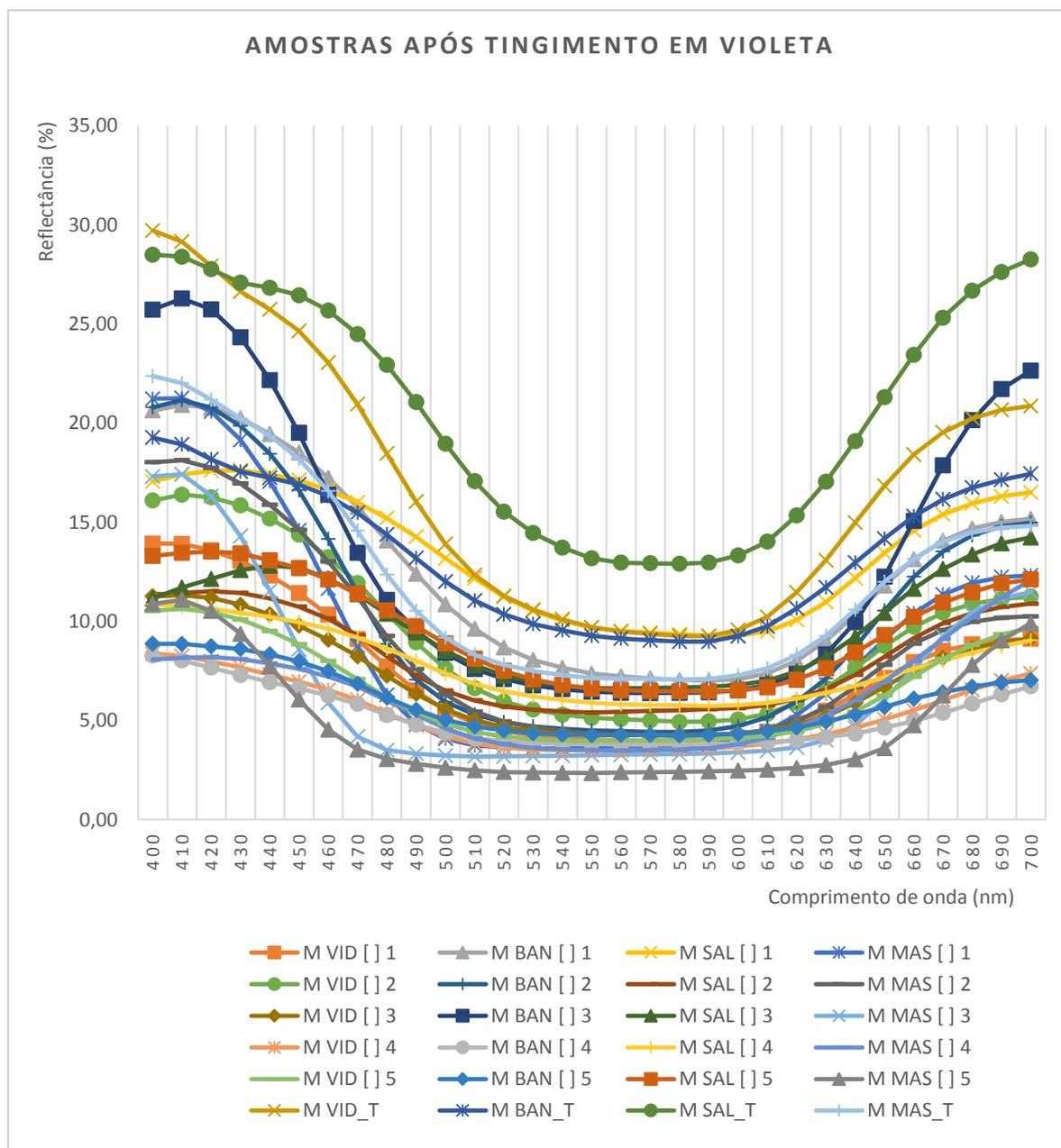


Figura 161. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após tingimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

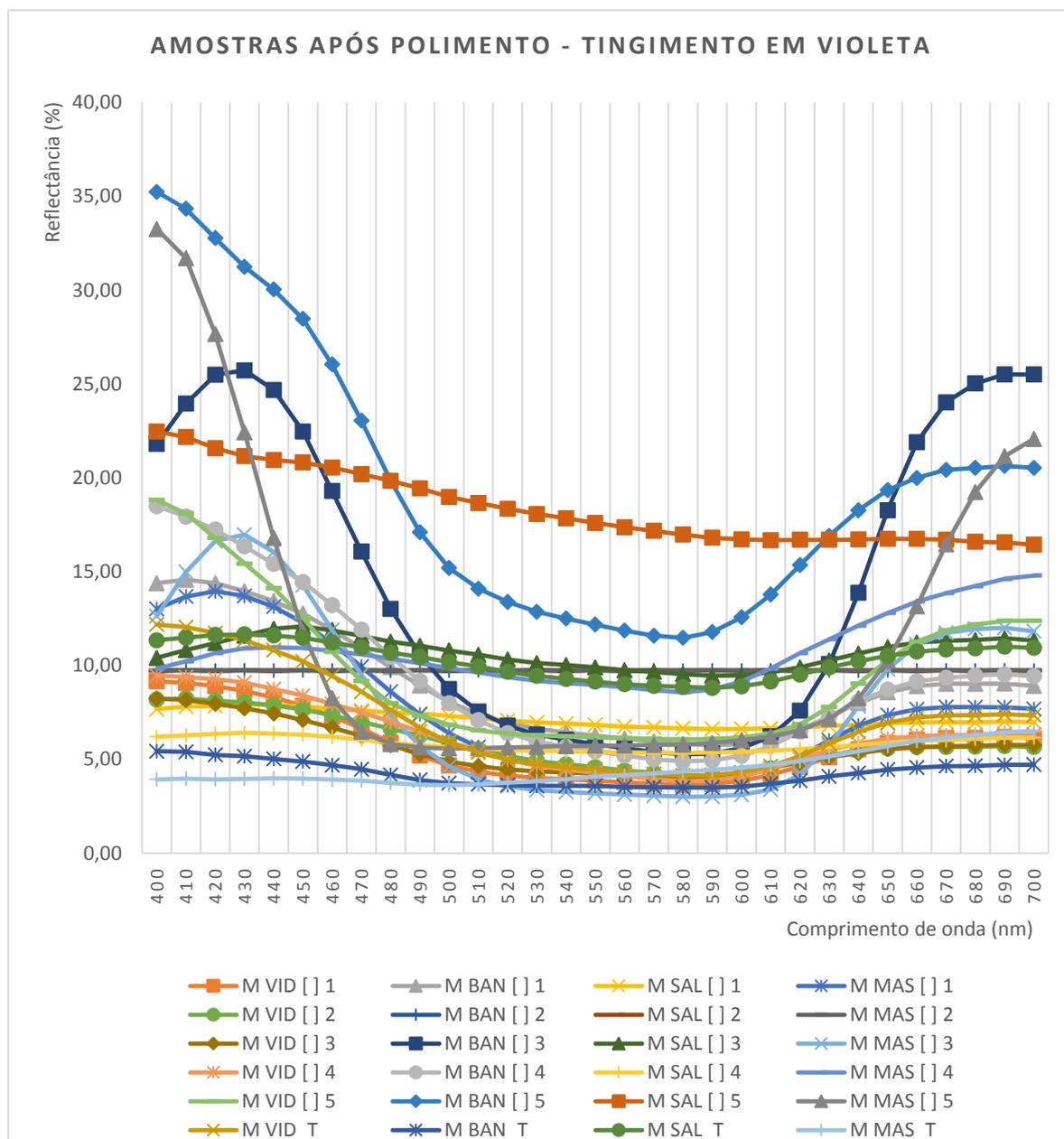


Figura 162. Curva de refletância com as médias das medidas de comprimento de ondas das amostras submetidas ao tingimento em violeta, a base de corante orgânico para as concentrações 1, 2, 3, 4 e 5 e ao sistema de tingimento convencional. Medidas realizadas após polimento das peças. M VID [] 1, média da categoria vidrada submetida à concentração 1. M BAN [] 1, média da categoria bandada submetida à concentração 1. M SAL [] 1, média da categoria sal submetida à concentração 1. M MAS [] 1, média da categoria massa submetida à concentração 1. M VID [] 2, média da categoria vidrada submetida à concentração 2. M BAN [] 2, média da categoria bandada submetida à concentração 2. M SAL [] 2, média da categoria sal submetida à concentração 2. M MAS [] 2, média da categoria massa submetida à concentração 2. M VID [] 3, média da categoria vidrada submetida à concentração 3. M BAN [] 3, média da categoria bandada submetida à concentração 3. M SAL [] 3, média da categoria sal submetida à concentração 3. M MAS [] 3, média da categoria massa submetida à concentração 3. M VID [] 4, média da categoria vidrada submetida à concentração 4. M BAN [] 4, média da categoria bandada submetida à concentração 4. M SAL [] 4, média da categoria sal submetida à concentração 4. M MAS [] 4, média da categoria massa submetida à concentração 4. M VID [] 5, média da categoria vidrada submetida à concentração 5. M BAN [] 5, média da categoria bandada submetida à concentração 5. M SAL [] 5, média da categoria sal submetida à concentração 5. M MAS [] 5, média da categoria massa submetida à concentração 5. M VID_T, média da categoria vidrada no sistema convencional. M BAN_T, média da categoria bandada no sistema convencional. M SAL_T, média da categoria sal no sistema convencional. M MAS_T, média da categoria massa no sistema convencional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após interpretação genérica dos resultados obtidos para as sete cores, constata-se que a ágata de padrão bandado também apresenta aceitação para a coloração artificial nas diferentes cores, assim como o padrão homogêneo (ágata de massa).

A presença de teores significativos de quartzo na ágata, a nível macroscópico, pode interferir de forma negativa no tingimento artificial com corantes orgânicos, pois as amostras da categoria vidrada não apresentaram resultados satisfatórios para a coloração por meio destes pigmentos. Quanto aos reagentes em meio ácido, seguido de tratamento térmico, foi observado que essa categoria apresenta comportamento dual, no entanto, tem maior aceitabilidade para alteração da cor natural quando comparada aos reagentes orgânicos (anilinas).

Para o processo de otimização do sistema de tingimento em preto, todas as concentrações avaliadas apresentaram cor resultante preta nas peças amostradas, de acordo com a tipologia característica de cada peça, sendo o mesmo resultado obtido no processo de padronização. Em contrapartida, a coloração artificial em preto, pelo método convencional local, não apresentou os mesmos resultados, sendo obtido variações de tons de marrom e castanho.

Em espectrofotômetro, a determinação do comprimento de onda dessas peças é correspondente aos tons de castanho avermelhado e, não ao comprimento de onda do preto, fato esse que comprava a correlação perceptível entre a cor visual (sensação) com a cor real (espectral) identificadas no resultado do método convencional (industrial).

Como o resultado visual e a refletância das amostras submetidas à otimização é superior ao método convencional, pode ser concluído que este não está na proporção informada *in loco*, ou a qualidade dos reagentes não atendem aos requisitos mínimos de concentrações e características básicas, ou ainda, o conjunto destas possibilidades, resultando em cores divergentes do preto.

Para o processo de otimização do tingimento em vermelho, as concentrações 1 e 2 estão abaixo da concentração padronizada e convencional. Assim, já pode ser definido um padrão mínimo nas quantificações dos reagentes a partir da otimização, tendo em vista o êxito na coloração em vermelho. Assim, se desqualifica a concentração 1 da otimização para o tratamento termoquímico de gemas, tendo em vista os resultados insatisfatórios para a cor vermelha.

Não obstante, genericamente, para todas as cores avaliadas, os resultados para a padronização e otimização foram além do esperado, pois a qualidade visual do tratamento de ágata revelou estar acima do tingimento comercial local. Entretanto, se tinha conhecimento prévio e empírico, de que as amostras da categoria vidrada e sal, dificilmente sofrem alterações de cor para qualquer tipo de tingimento, sendo comprovado neste trabalho que a maior resistência à alteração de cor é para as amostras da categoria sal.

Em relação a cor azul, observa-se melhor resultado para as amostras de ágatas classificadas na categoria “bandada”, submetidas às concentrações 2 e 3 da otimização do sistema, quando comparadas às demais, inclusive ao método convencional. Nestes termos, observa-se a pouca eficiência no processo de tingimento em azul convencional, realizado por empresa local.

Tendo por base as leituras espectrofotométricas, observa-se melhor resultado para as amostras de ágatas classificadas na categoria “bandada” submetidas às concentrações 1, 2, e 3 da otimização do sistema de tingimento em verde, quando comparadas ao sistema convencional. Em relação ao aspecto visual, tanto o sistema de tingimento industrial quanto a otimização, resultou na coloração em tons de verde, porém ocorre diferenças notáveis no quesito qualidade da cor, quando analisado o comprimento de onda.

Ao verificar os resultados visuais e de comprimento de onda correspondente ao verde para as amostras submetidas ao tingimento convencional, estima-se que as concentrações das soluções de cloreto de amônio e óxido crômico estão abaixo dos valores otimizados, tendo em vista o resultado da cor.

Levando em consideração que o tingimento em verde usa íons de cromo hexavalente, a determinação da concentração mínima a ser usada para um tingimento de qualidade, reduz gastos operacionais, implicando também na minimização de impactos ambientais. Quando usada concentrações acima do necessário para obtenção da qualidade do produto final, agrega maior custos às peças e sobrecarrega o efluente com íons de Cr^{6+} .

Em especial para a coloração verde, quando alterada as proporções de anidrido crômico e cloreto de amônio, os tons de verde são alterados também. Assim, foi constatado que o aumento da concentração de óxido crômico, se obtém o escurecimento da cor verde. Em contrapartida, quando ocorre a elevação da concentração de cloreto de amônio, a intensidade da cor é reduzida, obtendo tons mais claros para o verde.

7. CONCLUSÃO

A partir do estudo em questão, pode ser apontado relevante avanço ao que tange os processos e métodos de tratamento químico e termoquímico de gemas, considerando os resultados obtidos na otimização do processo de tingimento e a evolução na linha da pesquisa desenvolvida.

Como principais conclusões do trabalho:

1. Na otimização dos métodos de tingimento, o tempo de aquecimento fornecido ao tratamento de ágata foi reduzido para as cores preta, vermelha, verde e azul, obtidas a partir de reagentes ácidos inorgânicos.
2. Na otimização dos métodos de tingimento, o tempo de aquecimento fornecido ao tratamento de ágata foi eliminado para as cores rosa, violeta e verde, obtidas a partir de corantes orgânicos.
3. Em relação as categorias de amostras, pode ser constatado que a ágata com “sal” não apresenta alteração significativa de cor para os diferentes sistemas de tratamento. Para a categoria vidrada, o comportamento foi variado, ora aceitando a coloração, ora não. As melhores categorias para serem submetidas a qualquer uma das sete cores avaliadas, são as classificadas como ágata bandada (padrão com bandas concêntricas e/ou plano paralelas) e ágata de massa (padrão homogêneo).
4. Foi observado aumento da intensidade de cor após o processo de polimento das amostras submetidas ao tingimento de ácidos inorgânicos para as cores preta, vermelha, azul e verde para a categoria massa e bandada. As amostras submetidas ao tingimento por corantes orgânicos apresentaram comportamento inverso, para as categorias vidrada e sal.
5. O tratamento otimizado de ágata comprova que pode ser realizado com redução ou eliminação dos tempos de aquecimento, sem perder a qualidade da cor, estando em consonância com políticas sustentáveis e redução de custos operacionais no setor mineral.
6. Foi possível estabelecer relações entre qualidade de cor, categorias de ágata e quantidade de reagentes a serem utilizadas para um padrão mínimo de coloração em cada tratamento químico e/ou termoquímico desenvolvido.
7. As Tabelas 34 e 35, representam a compilação dos resultados obtidos em função do tempo do tratamento, com a respectiva carga horária de operação e os tempos de redução de aquecimento fornecido ao processo.

Tabela 34. Tempo de duração total do tratamento de ágata pelo processo convencional e otimizado a partir de ácidos inorgânicos.

Coloração Artificial	Tingimento Convencional		Tingimento Otimizado		Redução de tempo de consumo de energia no sistema otimizado (h)	Redução de tempo (energia agregada ao processo) (%)
	Tempo total do processo (h)	Tempo de processo c/ consumo de energia (h)	Tempo total do processo (h)	Tempo de processo c/ consumo de energia (h)		
	Preto	298	298	292		
Vermelho	106	106	172	4	102	96,22
Azul	228	228	200	4	224	98,24
Verde	204	204	178	10	194	95,09

Tabela 35. Tempo de duração total do tratamento de ágata pelo processo convencional e otimizado a partir de corantes orgânicos.

Coloração Artificial	Tingimento Convencional		Tingimento Otimizado		Redução de tempo de consumo de energia no sistema otimizado (h)	Redução de tempo (energia agregada ao processo) (%)
	Tempo total do processo (h)	Tempo de processo c/ consumo de energia (h)	Tempo total do processo (h)	Tempo de processo c/ consumo de energia (h)		
	Rosa (anilina)	120	120	178		
Verde (anilina)	120	120	178	-	120	100
Violeta (anilina)	120	120	178	-	120	100

8. REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, I.M; FIORENTINI, J. A. (Cap. 6, p.103-132). Tecnologia de beneficiamento. In: *Ágata do Rio Grande do Sul*. Brasília: DNPM, 1998.
- ALFVIN, R. L.; FAIRCHILD, M. D. Observer Variability in Metameric Color Matches Using Color Reproduction Media. *Munsell Color Science Laboratory, Center for Imaging Science, Rochester Institute of Technology, Volume 22, number 3, June 1997*.
- ALLEN, E. H. *Matrix Álgebra for Colorimetrists, explained in Deane B. Judd and Günter Wyszecki, "Color in Business, Science and Industry", 2nd edition, New York, Wiley, 1963*.
- ALLEN, E. H.; GOLDFINGER, G. The Color of Absorbing Scattering Substrates. I. The Color of Fabrics. *J. Applied Polymer Science, 16, p.2973- 2982 – 1972*.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *ASTM E 2214 – 02 Standard Practice for Specifying and Verifying the Performance of Color-Measuring Instruments. 2002*.
- ANGHINETTI, I. C. *Tintas, suas Propriedades e Aplicações Imobiliárias (Monografia, Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012)*. Belo Horizonte, 65p. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEMOLOGIA. *Gemologia*. Ano II, nº 7, 1957. Ver outra forma de referenciar no trabalho do Rodrigo Almeida.
- BILLMEYER, F. W.; CAMPBELL, E. D.; MARCUS, R. T. Comparative Performance of Color-Measuring Instruments; Second Report. Reprinted from *APPLIED OPTICS*, Vol. 13, page 1510, June 1974 – Copyright by the Optical Society of America, 1974.
- BILLMEYER, F. W.; ALESSI, P. J. Assessment of Color-Measurements Objective Textile Acceptability Judgement. United States Army. Natick, Massachusetts – March 1979.
- BILLMEYER, F. W.; ALESSI, P. J. Assessment of Color-Measuring Instruments, by John Wiley & Sons, Inc. Volume 6, Number 4, Winter 1981.
- BOSSI, J. & CAGGIANO, W. 1974. Contribuição a la geologia de los yacimientos de amatista del Departamento de artigas (Uruguay). In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 28, 1974, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, SBG, v.3, P. 301-318.
- BRANCO, P. M. Glossário gemológico, Ed. da UFRS, Porto Alegre, RS. pp. 19-20. (1984).
- BRANCOFT, Peter. *Gem & Crystal Treasures*. Fallbrook, California, 1984.
- BRUM, I. A. S.; SILVA, Rodrigo A. (Cap. 15, p.205). Sistemas de tingimento de gemas. In: *Tecnologias para o setor de Gemas, Joias e Mineração*. Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. IV. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Geociências. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. 2010.

BRUM, T. M. M.; JUSHEM, P. L.; AGOSTINI, I. M.; FIORENTINI, J. A. Classificação da ágata. In: Departamento Nacional da Produção Mineral. *Ágata do Rio Grande do Sul*. Brasília, v. 1, Cap. 3, p. 37-63. 1998.

CLARK, P. J.; HANSON, A. R.; VERRIL, J. F. The Determination of Colorimetric Uncertainties in the Spectrophotometric Measurement of Color. Centre for Optical and Environmental Metrology, National Physical Laboratory, Queens Road, Teddington, Middlesex, TW11 0LW, United Kingdom. 1998.

CLAYTON, R.N.; O'NEIL, J.R.; MAYEDA, T.K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water. *Journal of Geophysical Research*, 77: 3057-3067.

CONSTANTINA, C. & MOXON, T. 2010. Agates from Gurasada, southern Apuseni Mountains Romania: an XRD and termogravimetric study. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 5 (02): 89-99.

DAMBROS, V.S. Processo de tingimento de ágatas: medidas de produção mais limpa e estudo de detoxificação de efluente. Dissertação de mestrado. UNISC, 2008.

DAVIDSON, H. R.; HEMMENDINGER, H.; LANDRY, J. L. R., Jr. A System of Instrumental Colour Control for the Textile Industry, *JSDC*, 79, 12 – p. 577- 589.1963.

DEL PINO, José Cláudio; KRUGER, Verno. *Segurança no laboratório*. Porto Alegre: SE-CECIRS, 1997.

DUARTE, L. C. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. *Pesquisas em Geociências*. Porto Alegre, v. 30, p. 3-60, dez. 2003.

DUARTE, L. C. Evolução geológica, geoquímica e isotópica das mineralizações de geodos com ametista, Artigas, República Oriental do Uruguai. Porto Alegre, 167p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.

ERICKSSON, C.; BRUM, I. A. S.; SILVA, J. T. Estudo de processos e métodos para tingimento de gemas no APL de Pedras, Gemas e Joias. In: Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. *Inovação, Desing e Pesquisas aplicadas em Gemas, Joias e Mineração*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Geociências. Porto Alegre: IGEO/UFGRS. 15, 34-35. 2012.

ERICKSSON, C.; BRUM, I. A. S. Padronização e otimização de sistemas de tingimento de gemas. *XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa & VIII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology*, Goiânia – GO. 2013.

ERICKSSON, C.; BRUM, I. A. S.; SILVA, J. T. Estudo de processos e métodos para tingimento de gemas na tonalidade verde aplicada à diferentes tipologias de ágatas. In: Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. *Inovação, Desing e Pesquisas aplicadas em Gemas, Joias e Mineração*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Geociências. Porto Alegre: IGEO/UFGRS. 2015. Cap. 18, p 138-145.

ERICKSSON, C; BRUM, I. A. S. Estudo de caso, padronização e otimização da coloração artificial em preto para ágatas do Rio Grande do Sul. In: Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. Ações aplicadas à cadeia produtiva de gemas e joias do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Geociências. Porto Alegre: IGEO/UFGRS. 2017. Cap. 7, p 60-72.

FAIRCHILD, M. D.; RENIFF, L. Propagation of Randon Errors in Spectrophotometric Colorimetry, by John Wiley & sons, Inc. – Volume 16, number 6, Decemberg, 1991.

FAIRCHILD, M. D.; SHAW, M.; Evaluating the 1931 CIE Color-Matching Functions. Munsell Color Science Laboratory, Rochester Institute of Technology, Volume 27, Number 5, October 2002.

FAVERO, Altair Alberto *et al.* *Apresentação de trabalhos científicos: normas e orientações práticas*. 4 ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008.

FALLICK, A.E.; JOCELYN, J.; DONNELLY, T., Guy, M. & BEHAN, C. 1985. Origin of agates in volcanic rocks from Scotland. *Nature*, 313: 672-674.

FISCHER, A.C. 2004. *Petrografia e geoquímica das fases silicosas dos geodos mineralizados a ametista (Região do Alto Uruguai, RS, Brasil)*. Porto Alegre, 159p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FLÖRKE O.H.; KÖHLER-HERBERTZ, B.; LAMGER, K & TÖNGES, I. 1982. Water in microcrystalline quartz of volcanic origin: agates. *Contribution to Mineral Petrology*, 80: 324-333.

FRONDEL, C.1962. *The system of mineralogy of Dana, J. D.* 7th. ed. New York: John Wiley, 334p.

GILG, H.A.; MORTEANI, G.; KOSTITSYN Y.; GATTER, I. & STRIEDER, A.J. 2003. Genesis of amethyst geodes in basaltic rocks of the Serra Geral formation (Ametista do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil): a fluid inclusion, REE, oxygen, carbon, and Sr isotope study on basalt, quartz, and calcite. *Mineralium Deposita*, 38(8):1009-1025.

GOUVÊA JUNIOR, J. C.; JUCHEM, P. L.; BRUM, T. M. M. Classificação microscópica preliminar da ágata de Salto do Jacuí, RS. Repositório Digital, LUME, Porto Alegre, 12, p. 32, set 2000. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/81256>. Acesso em: 11 agosto 2014.

GONÇALVES, Ítalo Gomes; PETTER, Carlos Otávio; SILVA, Anna Cláudia F. Formulação analítica da cor de tintas através da teoria de Kubelka-Munk. Porto Alegre: UFGRS. [201-]. 9 f. Laboratório de Processamento Mineral - LAPROM.

GÖTZE, J.; PLÖTZE, M.; TICHOMIROVA, M.; FUCHS, H. & PILOT, J. 2001a. Aluminium in quartz as an indicator of the temperature of formation of agate. *Mineralogical Magazine*, 65(3): 407-413.

GÖTZE, J.; TICHOMIROVA, M.; FUCHS, H.; PILOT, J. & SHARP, Z. D. 2001b. Geochemistry of Agates: A Trace Element and Stable Isotope Study: *Chemical Geology*, 175: 523-541.

GÖTZE, J.; PLÖTZE, M.; FUCHS, H. & HABERMANN, D. 2009. Defect Structure and Luminescence Behaviour of Agate – Results of Electron Paramagnetic Resonance (EPR) and Cathodoluminescence (CL) Studies. *Mineralogical Magazine*, 63(2): 149-163.

HARTMANN, L. A.; BAGGIO, S. B. Indicadores Geológicos da presença de jazidas de ametista, ágata e cobre em basaltos do Grupo Serra Geral. In: Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. Inovação, Desing e Pesquisas aplicadas em Gemas, Joias e Mineração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Geociências. Porto Alegre: IGEO/UFGRS. 2015. Cap. 1, p 6-13.

HARRIS, C. 1989. Oxygen-isotope zonation of agates from Karoo volcanics of the Skeleton Coast, Namíbia. *American Mineralogist*, 74: 476-481.

HATIPOĞLU, M.; DAVID, Ajò & KIRIKOĞLU, M.S. 2011. Cathodoluminescence (CL) features of the Anatolian agates, hydrothermally deposited in different volcanic hosts from Turkey. *Journal of Luminescence*, 131: 1131-1139.

HEEMANN, R. 1997. Geologia, controles e guias prospectivos para depósitos de ágata na região de Salto do Jacuí. Porto Alegre, 127 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HEEMANN, R. 2005. Modelagem estrutural e tridimensional para a prospecção e avaliação dos depósitos de ágata do distrito mineiro de Salto do Jacuí (RS). Porto Alegre, 150 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HIRSCHLER, R.; GORECZKY, L.; WINKLER, I. Computer Colorant Formulation – Some Considerations for Dyestuff Selection – 12th Congress of the International Federation of Associations of Textile Chemists and Colourists – Budapest. 1981.

HIRSCHLER, R. Apostila de Colorimetria Aplicada na Indústria Têxtil – FaSeC – Faculdade SENAI/CETIQT – 2002.

HUNT, R. W. G. Measuring Colour – Third Edition – Fountain Press – England – 1987.

HURLBUT Jr., C. S. & Switzer G.S. 1980. Gemologia. Barcelona, Editora Omega, S.A. 251p.

IANCU, O.G; TODA, D.P. & IANCU, G. 2009. Mineral chemistry of some agates from Gurasada (Mureş Valley, Romania) *Studia Universitatis Babeş-Bolyai. Geology*, 54 (1): 37 – 41.

JACKSON, J. E. Some Multivariate Statistical Techniques Used in Color Matching Data – *Journal of the Optical Society of America*, Volume 49, Number 6, June 1959.

JANSEN, J. M. Reflection-Factor Measurements and the Tolerances of Color Measurements. *DIE FARBE* 20 – 1971.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D.W. Applied Multivariate Statistical Analysis - Editora Prentice Hall, Fifth Edition. 2002.

JUCHEM, P. L. Mineralogia, Geologia e Gênese dos depósitos de Ametista da região do Alto Uruguai, Rio Grande do Sul. 1999. 239 f. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) – Programa da Pós-Graduação em Mineralogia e Petrografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

JUCHEM, Pedro Luiz. Materiais Gemológicos do RS. Laboratório de Gemologia, Departamento de Mineralogia e Petrografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Geociências. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. 2014. Cap. 4. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/107315/000919105.pdf?sequence=1>. Acessado em 25 de setembro de 2017.

KISHNER, S. J. Effect of Spectrophotometric Errors on Color Difference. Journal of Optical Society of America, Vol. 67, No. 6, June 1977.

KUEHNI, R. G. Computer Colorant Formulation – Lexington Books – D. C. Heath and Company. 1975.

KUBELKA, P.; MUNK, F. *Uma Contribuição à Óptica das Camadas Pigmentadas* (publicado em alemão: *Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche*) Z. Tech. Phys., 12 593-601, 1931.

LANDMESSER, M. 1988. Structural characteristics of agates and their genetic significance. Neus Jahrbuch Mineralogie, Abh 159: 223-235.

LANGFORD J.I. & WILSON, A.J.C. 1978. Scherrer after Sixty Years: A Survey and Some New Results in the Determination of Crystallite Size. *Journal applied Crystallography*, 11: 102-113.

LEE, D. R., 2008. Characterisation of silica minerals in a banded agate: implications for agate genesis and growth mechanisms. Disponível em: <http://www.geos.ed.ac.uk/homes/50789516/agate.pdf>. Acessado em: 21 ago. 2011.

LIZ, O. S. R. Técnicas para o Tratamento de Gemas. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. Minas Gerais. 2008.

LOPES, L. C. Controle metrológico da cor aplicado à estampania digital de materiais têxteis. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia). Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

MARCELLO, R. R. Caracterização e beneficiamentos das cinzas de incineração de aparas de couro para uso como pigmento cerâmico a base de óxido de cromo. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013.

MARCUS, R.T.; BILLMEYER, F. W. Statistical Study of Color Measurement Instrumentation – Reprinted from APPLIED OPTICS, Vol. 13, page 1519, June 1974 – Copyright by the Optical Society of America, 1974.

MCDONALD, R. Color Physics for Industry – Second Edition – Edited by Roderick McDonald. 1997.

MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M. & NARDY, A.J.R. 1988. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin - an introduction. In: Piccirillo E.M. & Melfi, A.J. (Eds.). The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo, Universidade de São Paulo, p. 1-13.

MERINO, E.; WANG, Y. & DELOULE, E. 1995. Genesis of agates in flood basalts: twisting of chalcedony fibers and trace - elements geochemistry. American Journal of Science, 295: 1156-1176.

MILANI, E.J. 1997. Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. 255 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MICHELIN, C. R. L. Sequência de formação das cavidades no basalto e seu preenchimento com zeolitas, arenito, ágata e ametista, Derrame Miolo, São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul, Brasil. 2007. 50f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007.

MICHELIN, C. R. L.; MISUZAKI, A. M. P.; FERREIRA, V.; BRUM, T. M.; HARTMANN, L. A. Ágata associada ao magnetismo do Cretáceo da Bacia do Paraná, sul do Brasil. 2013. 12 f. Artigo – Instituto de Geociências, universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MICHELIN, C. R. L.; MISUZAKI, A. M. P.; BRUM, T. M. Um estudo comparativo entre a ágata do Distrito Mineiro do Salto do Jacuí (RS) com depósitos da Alemanha. In: Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul. Ações aplicadas à cadeia produtiva de gemas e joias do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Geociências. Porto Alegre: IGEO/UFGRS. 2017. Cap. 2, p 20-25.

MORGAN, J.W. & WANDLESS, G.A. 1980. Rare earth elemento distribution in some hydrothermal minerals: evidence for crystallographic control. Geochimica et Cosmochimica Acta, 44: 973-980.

MOXON, T. 2002. Agate: a study of ageing. European Journal Minerology, 14: 1109 – 1118.

NIMEROFF, I. Comparison of Uncertainty Ellipses Calculated from Two Spectrophotometric Colorimetry Methods by an Automatic-Computer Program – National Bureau of Standards, Washington, D.C. 20234 August 1965.

OHNO, Y. Numerical Methods for Colour Uncertainty. Proceedings of the CIE Expert Symposium 2001 on Uncertainty Evaluation. 2001.

OUTON, D. P.; CHEN, P. Colour Change Sensitivity of Dye Recipes. JSDC Volume 111 July/August 1995.

PARALI, L.; GARCIA GUINEA, J.; KIBAR, R.; CETIN, A. & CAN, N. 2011. Luminescence behaviour and Raman characterization of dendritic agate in the Dereyalak village (Eskişehir), Turkey. *Journal of Luminescence*, 131(11): 2317-2324.

PEATE, D.W; HAWKESWORTH, C. J. & MANTOVANI, M. S. M. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, 55:119-139.

PETTER, C. O.; GLIESE, R.; SABEDOT, S; VALIM, A. B. Colorimetric kaolin typologies classification using artificial neural networks. In: *International Mineral Processing Congress, 2000, Roma, Itália: Elsevier Science Ltd, 2000.*

PETTER, C. O. *Princípios de Colorimetria*. Porto Alegre: PPGE3M/UFRGS, 2008. Apostila. Porto Alegre. 2008.

PEIXOTO, C. A. L. *Ajuste da cor de tintas no estado líquido*. 2016. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2016.

PÉREZ, H. A. *Apuntes de Esmaltes Y Colores Cerámicos*. Conselleria de Cultura, Educação Y Ciencia. Generalita Valenciana. Espanha. [1996?]. p. 79-105.

PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; MARQUES, L.S.; NARDY, A. J. R.; PACCA, I.G.; ROISENBERG, A. & Stofa, D. 1988. In: Piccirillo E.M. & Melfi, A.J. (Eds.) *Continental flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil), Continental flood basalts*, p. 195-238.

PUC-Rio. *Fundamentos da colorimetria*. 2011. 40 p. Notas de aula. Certificação digital nº 0621484/CA. Disponível em: http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0621484_09_cap_02.pdf. Acesso em 01 de setembro de 2017.

RENNE, P.R.; ERNESTO, M.; PACCA, I.G.; COE, R.S.; GLEN, J.; PREVOT, M., & PERRIN, M. 1992. The age of e Paraná flood vulcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science*, 258: 975-979.

RICH, D.C. Colorimetric Repeatability and Reproducibility of CHROMA-SENSOR Spectrocolorimeters. *DIE FARBE* 37. 1990.

ROBERTSON, A. R. Colorimetric Significance of Spectrophotometric Errors. *Journal of the Optical Society of America – Volume 57, number 5 MAY 1967.*

SALIBY, E. *Repensando a Simulação – A Amostragem descritiva – Editora Atlas S. A.* 1989.

SAUTER, G. *Correlations in Photometrics Measurements - Proceedings of the CIE Expert Symposium 2001 on Uncertainty Evaluation*. 2001.

SCHERER, C. M. 2000. Eolian Dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in Southernmost Brasil: morphology and origin. *Sedimentary Geology*, 137: 63-84.

SCHNEIDER, I. A. H.; PIZZOLATO, T.M.; MACHADO, E. L; CARISSIMI, E. Fotodegradação solar e oxidação química de corantes empregados na indústria de tingimento de ágatas. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

SCHUMANN, Walter. *Gemas do Mundo*. 3. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1985.

SHIPLEY, T.; WALKER, G. L. Chromatic Significance of Spectrophotometric Errors. *Journal of the Optical Society of America* – Volume 46, number 12, December 1956.

SILVA, G. B. Colorimetria – Propagação de erros e cálculo da incerteza de medição nos resultados espectrofotométricos. 2004. 92 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia). Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2004.

SILVA, R. A.; PETTER, C. O.; SCHNEIDER, I. A. Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas. *Revista da Escola de Minas*, v. 60, p. 477-482, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672007000300007>.

SLUBAN, B.; NOBBS, J. H. The Colour sensitivity of a Color Matching Recipe – 7th Congress of AIC in Budapest. *COLOR Research and application*. 1993.

SOARES, O. D. D.; COSTA, J. L. C. Uncertainties and Conformity in Spectrocolorimetry – CETO Centro de Ciências e Tecnologias Ópticas – Colour & Visual Scales Conference – CVS 2000, Royal Holloway College UK 3-5 April 2000.

SOTILI, M.; BRUM, T. M. M.; JUCHEM, P. L. Mineralogia da ágata do Salto do Jacuí e sua relação com o tingimento. *Repositório Digital, LUME, Porto Alegre*, 14, p. 29, dez 2002. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/56647>. Acesso em: 10 setembro 2013.

STRIEDER, A. J. Geologia e mineração em áreas de garimpo de pedras preciosas no estado do rio grande do sul. Seminário – Relatório geral das atividades da UFRGS em geologia e mineração nos distritos mineiros de pedras preciosas no estado do Rio Grande do Sul. Setembro, 2005. UFRGS.

STRIEDER, A. J. & HEEMANN, R. 2006. Structural constraints on Paraná basalt volcanism and their implications on agate geode mineralization (Salto do Jacuí, RS, Brazil). *Pesquisas em Geociências*, 33(1): 37-50.

SUMNER, H. H. Randon Errors in Dyeing – The Relative Importance of Dyehouse Variables in the Reproduction of Dyeings – JSDC, March 1976.

TUBINO, LUIZ CARLOS B. Tratamento industrial da ágata em bruto no Estado do Rio grande do Sul. 177 f. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia UFRGS, Porto Alegre, 1998.

VALLEY, J. W.; KITCHEN, N; KOHN, M. J.; NIENDORF, C. R. & SPICUZZA, M. J. 1995. UWG-2, a garnet standard for oxygen isotope ratios: strategies for high precision and accuracy with laser heating. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 5223- 5231.

VOGEL, A. I. Análise Química Quantitativa. Londres, SE18 6PF, Inglaterra, 5ª edição. 1988.

VÖLZ, Hans G. Industrial Color Testing Fundamentals and Techniques – VCH – 1995.

WYSZECKI, Günter. Color Science Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. 2nd ed. New York, John Wiley and Sons. 1982.

YAZDI, M; LOTFI, R.; MASSOUDI, F.; PAK, N. M. Chemical Treatment Effects of Blue, Yellow and Green Colors with Heating Methods on Agates of Cheshme Shoor Area, Qom, Iran. Department of Geology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 2016, 4, 210-217. Published Online, May 2016 in SciRes. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/jmmce>. Acesso em: 18 novembro 2017.

ZWINKELS, J. C. – Errors in Colorimetry Caused by the Measuring Instrument – Color Measuring – February 1988.