

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

ROGÉRIO ALVES DA SILVA FILHO

**AVALIAÇÃO DE APARÊNCIA DE PINTURA AUTOMOTIVA – EFEITO ORANGE
PEEL**

BELO HORIZONTE

2018

ROGÉRIO ALVES DA SILVA FILHO

**AVALIAÇÃO DE APARÊNCIA DE PINTURA AUTOMOTIVA – EFEITO ORANGE
PEEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. DSc. Carlos Eduardo dos Santos

BELO HORIZONTE

2018

ROGÉRIO ALVES DA SILVA FILHO

**AVALIAÇÃO DE APARÊNCIA DE PINTURA AUTOMOTIVA – EFEITO ORANGE
PEEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Prof. Dr. Carlos Eduardo dos Santos – Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. CEFET-MG

Prof. Dr. André Guimarães Ferreira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. CEFET-MG

Prof. Dr. Rogério Felício dos Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. CEFET-MG

RESUMO

A qualidade do acabamento estético de componentes automotivos é fator crucial para decisão de compra de veículos para grande parte dos consumidores, pelo fato de gerar impressões sobre a qualidade geral do produto. A pintura de carroceria e componentes externo é um dos principais acabamentos e pode sofrer variações estéticas decorrentes do processo produtivo. Uma das variações observadas é o efeito *Orange Peel* ou Casca de Laranja, que corresponde a irregularidades na pintura que causam desconforto à visão humana por distorcer o contorno de objetos refletidos. O objetivo deste trabalho é entender e comparar os parâmetros e métodos de medição de aparência utilizados e analisar as variações ocorrentes devido o processo de aplicação, a matéria-prima, a geometria do veículo e o método utilizado. Ao final do trabalho foram observadas vantagens e desvantagens do parâmetro de medição instrumental de aparência recomendado pela norma interna de uma montadora sediada na região de Betim-MG, assim como diferenças de aspectos entre cores sólidas e e com efeito e algumas regiões com problemas devido à geometria do veículo. As cores Preto e Cinza Metálico foram as mais críticas em relação à casca de laranja e o veículo Hatch I apresentou a pior aparência comparando-o com os outros veículos.

Palavras-chave: Automotivo. Pintura. *Orange Peel*. Aparência. Estético.

ABSTRACT

The automobile components aesthetical quality is a crucial purchase factor for consumers, because they may give impressions about the product general quality. The body and external components painting is one of the most important aesthetical devices of the vehicle and it may change during the painting process. One effect that occurs in painting is the Orange Peel, characterized by a waviness perceived as irritating by human eye because contours of mirrored objects are distorted. The aim of this study is to understand and compare the methods and parameters to evaluate this effect, analyzing the variations that occurs due the process, the raw material and the vehicles geometry. After the experiments, we concluded that are advantages and disvantages about the parameter of appearance from a vehicle manufacturing company placed in Betim-MG, as the aesthetical differences between the company solid and effect colors and some areas of the vehicles with appearance problems due the painting process and its geometry. The metallic black and metallic silver were the most critical colors in orange peel and the vehicle Hatcht I presented the worst appearance comparing to other vehicles.

Key words: Automobiles. Painting. Orange Peel. Appearance. Aesthetical.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Análise de Aparência	14
Figura 2 - Interação iluminante-superfície-observador	15
Figura 3 – Efeito <i>Orange Peel</i>, conhecido como casca de laranja	15
Figura 4 - Resolução da visão humana	16
Figura 5 - Refletômetro Byk Gardner Micro-gloss S-Family	18
Figura 6 - Curva de refletância completa.....	18
Figura 7 - Amostra sem névoa Figura 8 - Amostra com névoa	19
Figura 9 - Parâmetro R_a	20
Figura 10 - Parâmetro R_q.....	20
Figura 11 - Parâmetros R_p, R_v e R_z.....	21
Figura 12 - Parâmetro P_t	21
Figura 13 - Princípio de funcionamento do Wave-scan	22
Figura 14 - Wave-scan Dual	23
Figura 15 - Espectro Estrutural - Variação dos parâmetros do Wave-scan de acordo com a espessura do <i>Clear Coat</i>.....	23
Figura 16 - Representação de Shortwaves e Longwaves.....	25
Figura 17 - Cálculo de <i>Shortwaves</i> e <i>Longwaves</i>	26
Figura 18 - Padrões de Casca de Laranja	27
Figura 19 - Pintura Seca e Rechupada	Figura 20 - Pintura Seca e Encascada
27	
Figura 21 - Curvas de espectro estrutural das Figuras 19 e 20	28
Figura 22 - Variações de LC e WL	29
Figura 23 - LC ideal	29
Figura 24 - WL ideal	30
Figura 25 - Balance Chart	30
Figura 26 - Balance Chart	31
Figura 27 - Correlação do parâmetro W_d e a análise visual.....	32
Figura 28 - Correlação os parâmetros W, SW e LW e a análise visual.....	32
Figura 29 – Condições do parâmetro FAM	33
Figura 30 - Curvas de diferentes aspectos - FAM	33

Figura 31 - Fatores mediadores da aparência	35
Figura 32 - Influência da viscosidade nos parâmetros SW e LW.	35
Figura 33 - Influência do tempo de Flash-off nos parâmetros SW e LW	36
Figura 34 - Otimização de aplicação do <i>Clear Coat</i> e Lixamento do Primer	36
Figura 35 - Variação dos parâmetros do Wave-scan com a espessura do <i>Clear Coat</i>.....	37
Figura 36 - Influência dos parâmetros amplitude e ondulação na velocidade de nivelamento	38
Figura 37 - Camadas de pintura automotiva	39
Figura 38 - Sino rotacional para aplicação de pintura automotiva	40
Figura 39 - Comparação de superfícies reais com produzidas virtualmente.....	41
Figura 40 - Análise de variância.....	43
Figura 41 - Gráfico de interação velocidade*tensão	43
Figura 42 - Hatch I Média de FAM	47
Figura 43 - Hatch II Média de FAM.....	47
Figura 44 - Pick Up Média de FAM.....	48
Figura 45 - Hatch I Desvio de FAM.....	49
Figura 46 - Hatch II Desvio de FAM	49
Figura 47 - Pick Up Desvio de FAM	50
Figura 48 - Hatch I Média de ACY.....	51
Figura 49 - Hatch II Média de ACY	51
Figura 50 - Pick Up Média de ACY	52
Figura 51 - Hatch I Desvio de ACY	52
Figura 52 - Hatch II Desvio de ACY.....	53
Figura 53 - Pick Up Desvio de ACY.....	53
Figura 54 - Espectro Estrutural Hatch I Vermelho Sólido – Portas	54
Figura 55 - Espectro Estrutural Hatch I Cinza Metálico – Portas	55
Figura 56 - Fotografia Hatch I Vermelho Sólido – Portas.....	56
Figura 57 - Fotografia Hatch I Cinza Metálico – Portas	56
Figura 58 - Espectro estrutural verticais – SUV Branco Sólido (montadora americana)	57
Figura 59 - Espectro estrutural verticais – SUV Preto Sólido (montadora coreana)	58
Figura 60 - Espectro estrutural verticais – SUV Preto Sólido (Pernambuco)	58

Figura 61 - Espectro estrutural verticais – Pick Up Branco Sólido (Pernambuco)	59
Figura 62 - Espectro estrutural verticais – Sedan Vermelho Metálico (Argentina)	59
Figura 63 - Espectro estrutural verticais – SUV Prata (Pernambuco).....	60
Figura 64 - Média de FAM – Hatch I - Plásticos	61
Figura 65 - Média de FAM – Hatch II - Plásticos.....	62
Figura 66 - Média de ACY – Hatch I - Plásticos	62
Figura 67 - Média de ACY – Hatch II - Plásticos.....	63
Figura 68 - Desvio de FAM – Hatch I - Plásticos.....	63
Figura 69 - Desvio de FAM – Hatch II - Plásticos	64
Figura 70 - Desvio de ACY – Hatch I - Plásticos	64
Figura 71 - Desvio de ACY – Hatch II - Plásticos	65
Figura 72 - Matching Para-lamas / Para-choque Anterior – Preto Sólido.....	65
Figura 73 - Matching Lateral / Para-choque Posterior – Branco Sólido	66
Figura 74 - Matching Para-lamas / Para-choque Anterior – Prata.....	66
Figura 75 - Matching Lateral / Para-choque Posterior – Prata.....	67
Figura 76 - Análise de variância Zona 1 – Para-lamas - FAM.....	69
Figura 77 - Análise de variância paralamas - ACY.....	70
Figura 78 - Média dos efeitos principais Zona 1 – para-lamas - FAM.....	70
Figura 79 - Média dos efeitos principais para-lamas - ACY	71
Figura 80 - Análise de variância Zona 2 – Coluna C – FAM	71
Figura 81 - Análise de variância Zona 2 – Coluna C - ACY	72
Figura 82 - Média dos efeitos principais - Zona 2 – Coluna C - FAM.....	72
Figura 83 - Diagramas de interações - Zona 2 – Coluna C - FAM	73
Figura 84 - Média dos efeitos principais - Zona 2 – Coluna C - ACY	74
Figura 85 - Diagramas de interações - Zona 2 – Coluna C - ACY.....	74
Figura 86 - Análise de variância Zona 3 – Portas Dianteiras - FAM	75
Figura 87 - Análise de variância Zona 3 – Portas Dianteiras – ACY	75
Figura 88 - Média dos efeitos principais - Zona 3 – Portas Dianteiras – FAM	76
Figura 89 - Diagrama de interações - Zona 3 – Portas Dianteiras - FAM	77
Figura 90 - Média dos efeitos principais - Zona 3 – Portas Dianteiras - ACY.....	77
Figura 91 - Diagrama de interações - Zona 3 – Portas Dianteiras - ACY.....	78

Figura 92 - Análise de variância Zona 4 – Portas Traseiras - FAM.....	78
Figura 93 - Média dos efeitos principais Zona 4 – Portas Traseiras – FAM	79
Figura 94 - Análise de variância Zona 5 – Capô- FAM	79
Figura 95 - Média dos efeitos principais Zona 5 – Capô- FAM	80
Figura 96 - Análise de variância Zona 6 – Teto - FAM	80
Figura 97 - Análise de variância Zona 6 – Teto – ACY	81
Figura 98 - Média dos efeitos principais Zona 6 – Teto – FAM.....	81
Figura 99 - Diagrama de interações Zona 6 – Teto – FAM.....	82
Figura 100 - Média dos efeitos principais Zona 6 – Teto – ACY	82
Figura 101 - Média dos efeitos principais Zona 6 – Teto – ACY	83
Figura 102 - Programação do robô de aplicação para o veículo Hatch I.....	85
Figura 103 - Regiões de avaliação Hatch I.....	91
Figura 104 - Regiões de avaliação Hatch II.....	92
Figura 105 - Regiões de avaliação Pick Up	92
Figura 106 - Planejamento experimental DOE.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média dos parâmetros de aplicação de <i>Base Coat</i> das cores Vermelho Sólido e Cinza Metálico no veículo Hatch I	55
Tabela 2 - Parâmetros de aplicação <i>Clear Coat</i> Hatch I	68
Tabela 3 - Parâmetros de aplicação <i>Clear Coat</i> Hatch II.....	68
Tabela 4 - Razão de estimativa Wd Hatch I e Hatch II	69
Tabela 5 - Média de FAM de veículos Hatch I e Hatch II - Primer X Ciclo Completo	84
Tabela 6 - Regiões de avaliação Hatch I, Hatch II e Pick Up	90
Tabela 7 - Regiões DOE	91

LISTA DE SIGLAS

QFI – Qualidade de Formação da Imagem

DOI – *Distinctness of Image* (Distinção de Imagem)

SW – Shortwaves

LW – Longwaves

LC – Longwave Coverage

WL – Wet Look

FAM – Fiat Appearance Matrix

ACY - *Accuracy*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.2 JUSTIFICATIVA	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. APARÊNCIA.....	14
2.1.1 <i>Brilho e Haze (Névoa)</i>	16
2.1.2 <i>Métodos de medição de aparência</i>	19
2.1.3 <i>Parâmetros de aparência</i>	24
2.2. LINHAS DE PESQUISA E TENDÊNCIAS DE AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE APARÊNCIA.....	34
2.2.1 <i>Otimização de parâmetros de processo e formulação dos revestimentos</i>	34
2.2.2 <i>Correlação entre aplicação e aparência</i>	38
2.2.3 <i>Simulação da análise visual</i>	41
2.2.4 <i>Pintura de partes plásticas automotivas e Design of Experiments</i>	42
3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1 AVALIAÇÃO DOS VEÍCULOS	46
4.1.1 <i>Análise Geral</i>	46
4.1.2 <i>Análise de Componentes Plásticos</i>	61
4.1.3 <i>Análise de Geometria – Design of Experiments</i>	67
5. CONCLUSÃO	86
REFERÊNCIAS	87
ANEXO I – REGIÕES DE MEDIÇÃO	90

1. INTRODUÇÃO

A alta competitividade da indústria automobilística traz demandas cada vez maiores de qualidade para os seus produtos. Nesse sentido, aspectos relativos ao acabamento estético dos veículos têm tido grande destaque nas últimas décadas, sendo muitas vezes, fator preponderante na decisão de compra do consumidor.

Portanto, além de função estrutural, protetiva e ergonômica, materiais poliméricos com aplicação no interno e externo habitáculos, couros, tecidos e tintas passaram a ter função estética de grande importância. O desenvolvimento de vários tipos de cores que apresentam ou não efeito (partículas de alumínio ou pérola), de diferentes tecnologias estão cada vez mais presentes. Deste modo, propriedades relativas à aparência passaram a ser avaliadas e controladas dentro do processo produtivo e atualmente tem alto valor agregado.

É comum associar cor e aparência como sinônimos. Porém, tratam-se de propriedades diferentes, sendo cada uma com seus fundamentos e métodos específicos de avaliação. Basicamente, a cor está relacionada à composição química de um revestimento. Em contrapartida, a aparência está ligada às propriedades físicas e morfológicas deste material. A compreensão e avaliação dessas propriedades partem de princípios similares: a visão e percepção humana e a aplicação de métodos de análise que os mimetizam, fornecendo parâmetros de comparação que vão além da análise visual.

A análise visual é a melhor ferramenta de avaliação de cor e aparência, inclusive no processo produtivo da indústria automobilística. Porém, por muitas vezes ela se torna subjetiva devido à percepção humana variar de acordo com diversos fatores (fisiológicos, como sensibilidade à cor, que depende do número de células oculares funcionais ou até mesmo comportamentais, como humor, temperamento, entre outros). Com isso, para avaliação dessas propriedades, utilizam-se alguns equipamentos, tais como (GARDNER,2016):

- Espectrofotômetros: para avaliação instrumental de cor que se baseiam em sistemas colorimétricos definidos pela CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*);
- *glossmeter* (análise instrumental de brilho);
- *wave-scan*: para definição de parâmetros de aparência realizando avaliações da morfologia da superfície em escalas que simulam a percepção humana.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é entender e explorar o fenômeno *Orange Peel*, referente à avaliação de pintura automotiva, tendo como objetivos específicos:

- Comparar os parâmetros de medição instrumental de aparência, definindo a efetividade de cada um, analisando sua correlação com a avaliação visual, principalmente para o *FAM (Fiat Appearance Matrix)*;
- Avaliar a variação de aparência de acordo com as cores (sólidas e com efeito) e com a geometria dos automóveis;
- Correlacionar a aparência com parâmetros de aplicação do revestimento e com outras variáveis referentes ao processo produtivo;

1.2 JUSTIFICATIVA

O entendimento do fenômeno Casca de Laranja é essencial para o controle de qualidade estético de pintura na indústria automobilística. A maioria das montadoras tem dificuldade de criar padrões de análise e entender as influências do processo e controlá-las, tornando o fenômeno um problema recorrente em várias plantas.

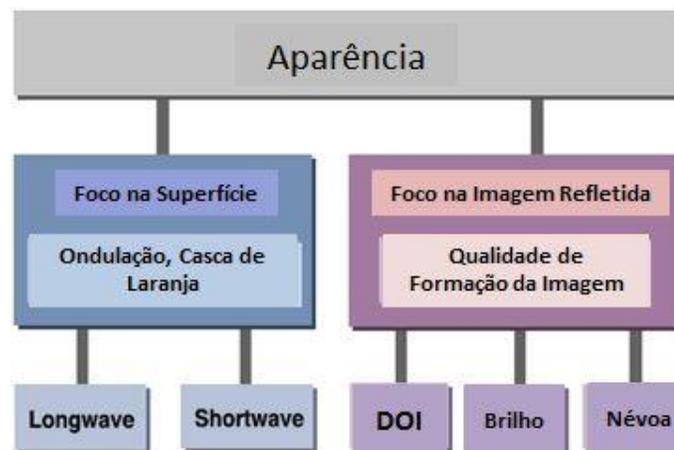
A análise a seguir será fundamental para a interpretação de normas internas por parte do setor de Engenharia de Materiais de uma empresa da área automotiva, diagnóstico e solução de problemas, definindo uma metodologia de análise que servirá de base para desenvolvimento de novos produtos e controle de qualidade periódico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. APARÊNCIA

A análise de aparência é realizada de duas formas: a avaliação de superfície e da imagem refletida. A superfície baseia-se na descrição das ondulações presentes e na morfologia formada. A segunda avaliação é estruturada na qualidade da imagem formada, onde se encontra o brilho, conforme esquematizado na Figura 1. Ambas possuem papel fundamental na percepção de aparência (GARDNER, 2016).

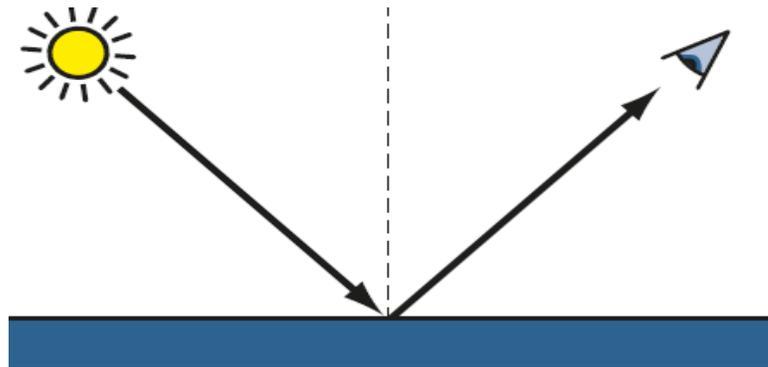
Figura 1 - Análise de Aparência



FONTE: (MARIGONDA, 2010) - Traduzido

Para compreender as propriedades apresentadas no esquema da Figura 1, é necessário realizar algumas considerações. Os efeitos de brilho estão ligados aos efeitos de reflexão da luz em uma dada superfície, através da interação entre elas, dentro de uma escala fisiológica. Portanto, todas as propriedades poderão variar de acordo com a característica da superfície (composição, morfologia e posição), o objeto iluminante e o observador (aspecto fisiológico), sendo os três componentes representados na Figura 2 (GARDNER, 2016).

Figura 2 - Interação iluminante-superfície-observador



FONTE: (GARDNER, 2016).

A abordagem através da avaliação da imagem refletida está diretamente ligada à capacidade dos materiais de refletirem objetos. O objeto que dá origem à imagem formada, que pode ser considerada uma fonte de luz que é refletida no material, pode aparecer de forma brilhante ou não, na qual é avaliado o brilho (*Gloss*). A imagem formada pode ter um aspecto leitoso (*Haze* ou névoa) e sua formação pode estar nítida ou não (*DOI – Distinctness of Image* ou Distinção de Imagem) (GARDNER, 2016).

Com o foco na superfície, é possível analisar os padrões de ondulação. Quando o material interage com o iluminante, são reproduzidas imagens que apresentam regiões claras e escuras que revelam a morfologia da superfície. Essas estruturas são comumente chamadas de casca de laranja (*Orange Peel*), sendo mais facilmente observadas com a reflexão de um objeto brilhante e/ou em materiais mais escuros, efeito representado na Figura 3 (PETERS; NICHOLS; ELLWOOD, 2011).

Figura 3 – Efeito *Orange Peel*, conhecido como casca de laranja



FONTE: (DETMER, 2017) – Traduzido.

Alguns defeitos como crateras, bolhas e surgimento de superfícies com aspecto enrugado ou áspero também influenciam na aparência do revestimento. O efeito de casca de laranja, dependendo dos padrões de qualidade estabelecidos para o produto final, pode ser aceito até um certo nível. Outros defeitos são considerados inapropriados em relação à aparência, sendo necessário encontrar as possíveis causas e solucioná-las. Assim como na casca de laranja, os parâmetros de processo, a formulação do revestimento e as condições de aplicação são alguns dos aspectos que podem contribuir para o surgimento das alterações morfológicas (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007).

As estruturas que formam as ondulações observadas na superfície dos revestimentos são divididas em dois tipos: *Shortwaves* e *Longwaves*. Essa divisão é realizada de acordo com seu tamanho ou comprimento de onda, sendo que a observação delas varia de acordo com a distância do observador ao objeto devido aspectos fisiológicos da resolução da visão humana. A Figura 4 representa a variação da visibilidade dessas estruturas de acordo com o tamanho e a distância de observação (GARDNER, 2016).

Figura 4 - Resolução da visão humana



FONTE: (GARDNER, 2016).

2.1.1 Brilho e Haze (Névoa)

O brilho é caracterizado pela reflexão especular da luz. Portanto, quanto maior a quantidade de luz refletida no mesmo ângulo no qual foi projetada, maior será o brilho do material. A

quantidade de luz remanescente pode ser refletida de forma difusa ou penetrar em sua estrutura sendo absorvida ou espalhada, dependendo de sua composição. A luz refletida de forma difusa não é percebida como brilho, mas influencia na aparência (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007).

A intensidade do brilho de uma superfície é dependente de três fatores: a regularidade da superfície, a composição do material e o ângulo de iluminação. As irregularidades presentes na superfície dos materiais atuam na reflexão da luz de forma difusa em diferentes direções. Quanto mais polida ou suave for a superfície, maior será a intensidade do brilho. Em geral, o brilho de superfícies metálicas é maior quanto menor o ângulo de iluminação. Para superfícies não-metálicas, como plásticos e revestimentos em geral, quanto maior o ângulo de iluminação, menor a intensidade de brilho (GARDNER, 2016).

Os materiais podem ser classificados como baixo brilho, semi brilho ou alto brilho. Para isso, criou-se uma escala, em unidades de brilho, na qual é reproduzida com base em um padrão de vidro preto e polido, com um índice de refração de 1,567 (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007). O padrão é caracterizado por possuir 100 GU (*glass units*), sendo superfícies de baixo brilho com menos de 10 GU, as de semi brilho com $10 < GU < 70$ e as de alto brilho com mais de 70 GU. Em geral, os metais se enquadram na condição de alto brilho, podendo alcançar até 2000 GU enquanto que a maioria dos plásticos se caracterizam por baixo brilho (GARDNER, 2016).

As análises são realizadas com refletômetros, também chamados de *Glossmeters* ou medidores de brilho (Figura 5), que registram a quantidade de luz refletida de forma especular e a transformam em GU de acordo com o padrão calibrado. Superfícies de baixo brilho geralmente são analisadas com uma geometria de 85° devido a maior parte da luz ser refletida de forma especular em ângulos maiores. Já as de semi brilho são analisadas em 60° e as de alto brilho em 20° , como pode ser observado na Figura 5 (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007).

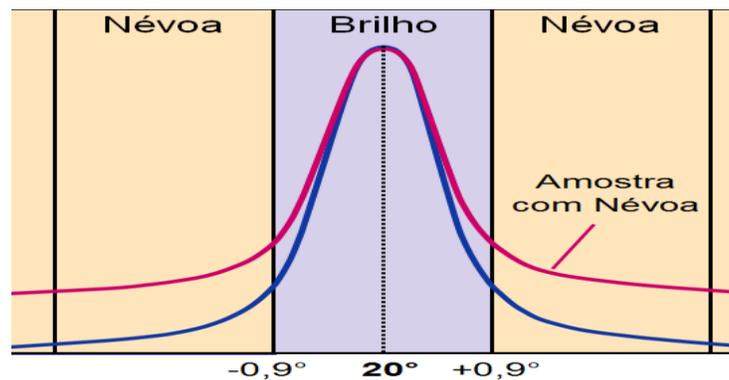
Figura 5 - Refletômetro Byk Gardner Micro-gloss S-Family



FONTE: (GARDNER, 2016).

Alguns equipamentos conhecidos como goniofotômetros possibilitam a medição da reflexão da luz em todas as direções de 0° a 90° através de uma sonda móvel que dá origem a curva completa de refletância, denominada indicador de brilho. Através da curva exemplificada na Figura 6, é possível identificar a proporção de luz que é refletida em todas as direções, o que pode indicar além do brilho, características relativas à qualidade da imagem formada em uma superfície e sugerir algumas características (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007).

Figura 6 - Curva de refletância completa



FONTE: (GARDNER, 2016).

A análise de um fenômeno importante na aparência de revestimentos ocorre por meio dessa curva. A luz que é difusa em ângulos próximos ao ângulo especular produz algumas

distorções no brilho e na imagem formada, sendo referenciada como *Haze* (névoa). A Figura 6 indica as diferenças entre superfícies de alto brilho, com e sem névoa, e as Figuras 7 e 8 indicam exemplos de superfícies sem e com névoa (GARDNER, 2016).

Figura 7 - Amostra sem névoa

Figura 8 - Amostra com névoa



FONTE: (GARDNER, 2016).

2.1.2. Métodos de medição de aparência

A caracterização da textura de uma superfície é essencial para compreender e controlar sua aparência. Alguns parâmetros são utilizados para este fim, tendo equipamentos específicos para quantificá-los e que são de grande importância para o controle de qualidade de aparência de superfícies em vários segmentos.

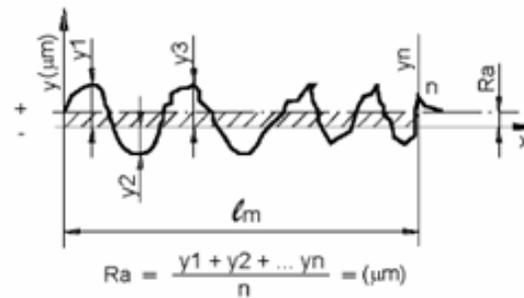
Durante a aplicação e cura de um revestimento em um substrato qualquer, ocorrem alguns fenômenos que contribuem para a formação da textura do material. O filme, ao se formar sob fluxo pode cobrir as irregularidades do substrato, as nivelando ou simplesmente acompanhando suas ondulações, produzindo uma superfície lisa ou ondulada dependendo das propriedades de seus componentes. Além disso, nesses dois casos há a formação de uma microtextura dentro dessas ondulações ou mesmo na superfície lisa durante a secagem do revestimento, geralmente credenciadas como a rugosidade da superfície (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007).

O primeiro método indireto de caracterização é através de um rugosímetro. Basicamente, o instrumento percorre mecanicamente a superfície de um revestimento com uma ponteira de

diamante, de aproximadamente $5 \mu\text{m}$ de raio, com movimento transversal e vertical, registrando de forma aproximada a morfologia da superfície. Os parâmetros obtidos pela técnica estão mostrados à seguir nas Figuras 9 à 12(GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007):

- Ra: média aritmética das irregularidades no comprimento de amostragem l_m ;

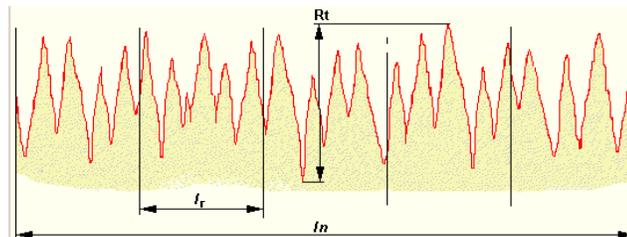
Figura 9 - Parâmetro Ra



FONTE: (VITTOY, 2013)

- Rt: máxima altura pico-vale do perfil no comprimento de medição;

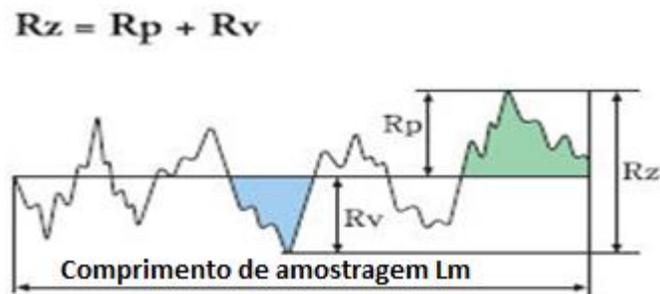
Figura 10 - Parâmetro Rq



FONTE: (VITTOY, 2013)

- Rp: distância do maior pico ao centro;
- Rv: distância do menor vale ao centro;
- Rz: distância do maior pico ao menor vale ($R_p + R_v$);

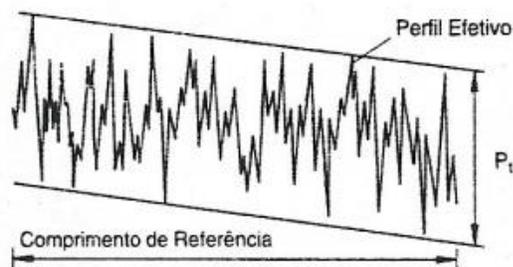
Figura 11 - Parâmetros R_p , R_v e R_z



FONTE: (VITTOY, 2013)

- P_t : profundidade do perfil efetivo dentro do comprimento de medição;

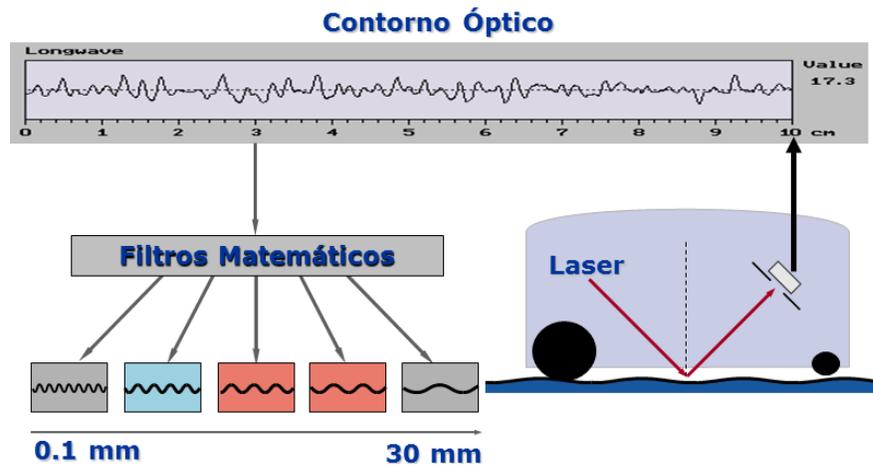
Figura 12 - Parâmetro P_t



FONTE: (VITTOY, 2013)

O *Wave-scan* é um equipamento que possui um feixe de *laser* com diâmetro em torno de $1 \mu m$ que é capaz de percorrer uma superfície medindo a variação do ângulo de reflexão de acordo com as irregularidades presentes, produzindo um perfil óptico como exemplificado na Figura 13 (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007).

Figura 13 - Princípio de funcionamento do Wave-scan



FONTE: (GARDNER, 2016).

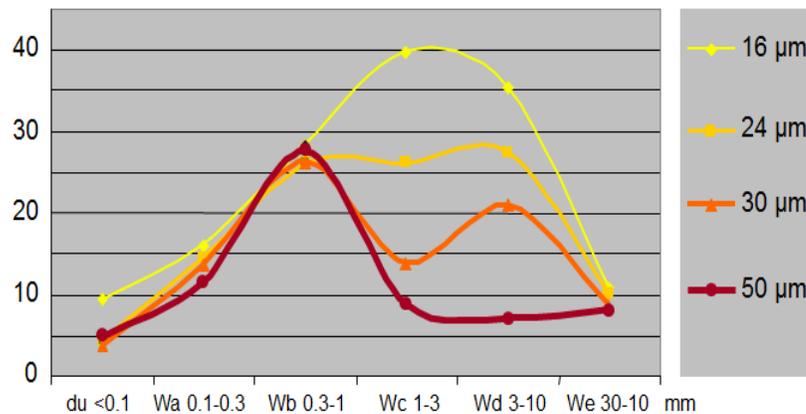
Através de métodos matemáticos, as curvas obtidas são separadas de acordo com o comprimento de onda e amplitude, sendo convertidas em senóides e cossenóides através de Transformadas de Fourier. Essas curvas são filtradas e dispostas num espectro de ondulação denominado espectro estrutural, onde podem ser obtidos alguns parâmetros, como o *du* (*dullness*, que representa ausência de contraste) e os “W” - W_a , W_b , W_c , W_d e W_e , cujas dimensões de comprimento de onda variam segundo a escala mostrada na Figura 13. Cada W é correspondente à uma estrutura de uma determinada dimensão, sendo sua amplitude representada no eixo vertical do espectro (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007). A Figura 14 mostra um Wave-scan Dual da BYK Gardner.

Figura 14 - Wave-scan Dual



FONTE: (MARIGONDA, 2010)

Figura 15 - Espectro Estrutural - Variação dos parâmetros do Wave-scan de acordo com a espessura do *Clear Coat*



FONTE: (MARIGONDA, 2010)

Outros parâmetros também são derivados do espectro estrutural, podendo ser uma combinação da escala da Figura 15. Os principais são os chamados *Shortwaves* (SW), que corresponde à estruturas com dimensões entre 0,3 mm e 1,2 mm e os *Longwaves* (LW), com dimensões de 1,2 mm a 12 mm (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007). Essas estruturas estão ligadas à distância entre o observador e a superfície, sendo as SW melhor observadas à distâncias menores, e as LW à distâncias maiores. Por esse e todos os outros fatores citados, a

análise através do *Wave-scan* é até hoje a mais próxima de simular a percepção visual humana, sendo implementada em vários segmentos.

2.1.3. Parâmetros de aparência

A análise de estrutura espectral se dá na direção da QFI (Qualidade de Formação da Imagem). Conforme visto na Figura 4, a observação de objetos pela visão humana varia de acordo com a distância entre o observador e o objeto, o que varia a resolução dos nossos olhos. Para até 40 cm de distância de observação, onde predominam as SW, a QFI é dada pelo DOI (Distinção de Imagem), que é diminuída por estruturas finas de aproximadamente 0,3 mm. À longas distâncias, aproximadamente 3 m, a QFI depende do *Wet Look* (ou aparência molhada), sendo influenciada por estruturas entre 1-3 mm (GARDNER, 2016).

O DOI (Distinção de imagem) está ligado a três aspectos: contraste, nitidez e brilho da imagem. As variáveis que alteram esses aspectos são:

- du (*dullness*);
- Wa e Wb (*Shortwaves*), sendo todas as estruturas pequenas capazes de causar espalhamento da luz e distorções de contraste, nitidez e brilho, onde $DOI = f(du\ 50\%, Wa\ 30\%, Wb\ 20\%)$ (GARDNER, 2016).

Para compreender a aplicação deste parâmetro, basta se basear no parâmetro *Haze* ou Névoa, que interfere na nitidez da imagem refletida na superfície. Por estar associado às SW, é controlado por estruturas pequenas que provocam a difusão da luz, distorcendo a imagem e modificando portanto, seu contraste e sua nitidez.

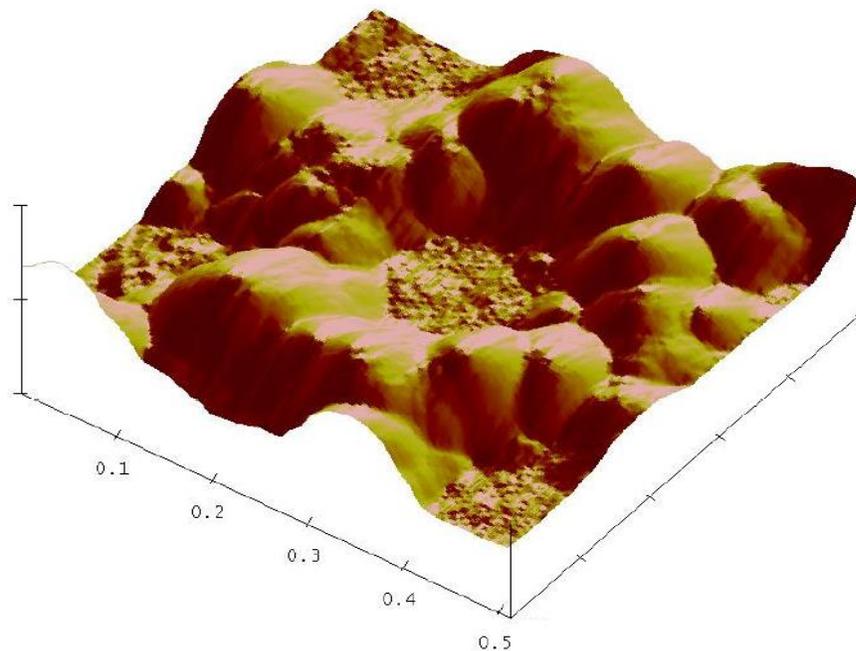
A variável brilho é comumente relacionada como fator principal de qualidade de aparência. Segundo Gardner (2016), há casos em que o brilho entre dois materiais é o mesmo, porém apresentam valores de DOI diferentes. Como exemplo, basta retornar à Figura 6. Nela, as duas curvas apresentam o mesmo brilho, porém em uma delas, há a ocorrência de névoa (*Haze*), o que certamente irá gerar uma imagem menos nítida.

A Casca de Laranja é caracterizada em uma superfície por um aspecto enrugado, onde são observadas irregularidades no contorno dos objetos refletidos, gerando um padrão de regiões

claras e escuras. Em geral, pinturas automotivas são aplicadas pela atomização de partículas de tinta que são atraídas por uma superfície carregada eletricamente. Essas partículas podem assumir diversos tamanhos, dispersos na faixa de resolução do equipamento *Wave-scan*. É possível afirmar que todo revestimento terá estruturas presentes na faixa de *Shortwaves e Longwaves*, e o que definirá se um revestimento está encascado ou não será proporção entre elas. A Figura 16 mostra como é essa interação, onde as estruturas menores cobrem as maiores. Portanto, quanto maior o recobrimento das *Longwaves* por parte das *Shortwaves*, menos encascada será a pintura. Uma ressalva é importante, pois caso haja um excesso de *Shortwaves*, a aparência final também será prejudicada, com o aparecimento de um aspecto fosco ou rechupado (GARDNER, 2016).

A forma mais eficiente de prever o aspecto de uma pintura por meio do espectro estrutural, devido ao fato de essa curva descrever todas as estruturas presentes no revestimento e visualmente ilustrar a proporção entre elas, funcionando como uma espécie de impressão digital. Porém, as montadora produzem uma grande quantidade de veículos por dia, o que inviabiliza o controle do processo por meio do espectro estrutural. Para isso, foram criados parâmetros que buscam descrever a aparência de uma pintura com apenas um ou dois números, por meio de parcerias entre montadoras e fabricantes de equipamentos de análise, como o *Wave-scan*.

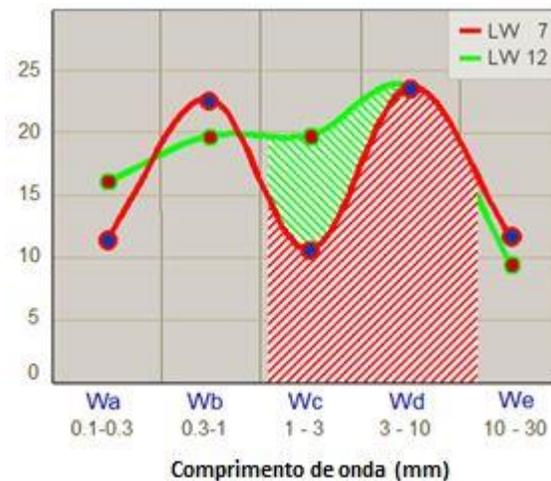
Figura 16 - Representação de Shortwaves e Longwaves



FONTE: (MARIGONDA, 2010)

Os primeiros parâmetros derivados dos W's do espectro estrutural, além do DOI, foram justamente os *Shortwaves* e *Longwaves*. Eles são gerados a partir da integral da curva do espectro, ou seja, à área abaixo da curva na faixa em que são compreendidos, sendo de 0,1mm à 1,2mm para SW e 1,2 à 12mm para LW, conforme pode ser observado na Figura 17. Com isso, foi criada uma regra seguida por muitos anos, onde uma razão de 2:1 de SW para LW era atribuída a uma boa aparência de pintura.

Figura 17 - Cálculo de *Shortwaves* e *Longwaves*



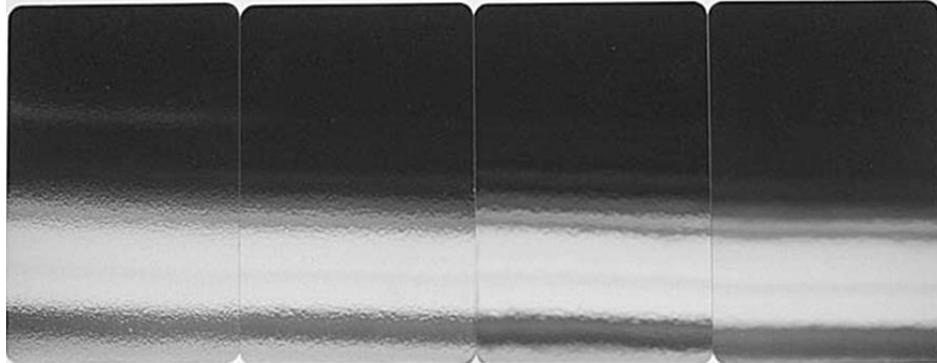
FONTE: (MARIGONDA, 2010) – Traduzido.

Entretanto, algumas montadoras optavam apenas por utilizar o valor de LW como controle de qualidade normatizado, a fim de simplificar mais ainda esse processo. A escolha se dá pela associação que era feita da Casca de Laranja com as *Longwaves*, caracterizada pela descrição de estruturas maiores na pintura. Com o objetivo de inserir as *Shortwaves* como parâmetro de controle, dada a importância desse parâmetro na aparência, foi criada a escala *Rating*, que nada mais é que uma compilação dos valores de SW e LW, como é demonstrado na Equação 1. Os valores variam de 1 à 10,5, sendo o primeiro relacionado à pior aparência e o último à melhor (GARDNER, 2016). A Figura 18 mostra padrões de análise visual de Casca de Laranja produzidos pela empresa ACT Test Panels, que consistem em 10 painéis que seguem a escala *Rating*.

$$R = [10,5 - 4 \log_{10}(a - 0,02|b - 20|)] \quad (1)$$

$$\text{Onde: } a = 20 \left(10^{\left(\frac{LW}{67}\right)} - 1 \right) \text{ e } b = 20 \left(10^{\left(\frac{SW}{67}\right)} - 1 \right)$$

Figura 18 - Padrões de Casca de Laranja



FONTE: (GARDNER, 2016).

Entretanto, foram identificados alguns problemas nessa escala. Conforme pode ser observado nas Figuras 19, 20 e 21, pinturas com diferentes aparências e diferentes valores de SW e LW podem apresentar o mesmo valor de *Rating*, o que a torna inconclusiva sobre a definição da aparência final de diferentes pinturas e a classificação entre elas, de acordo com a escala estabelecida.

Figura 19 - Pintura Seca e Rechupada

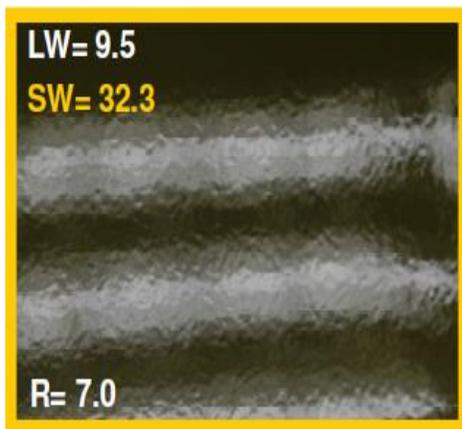
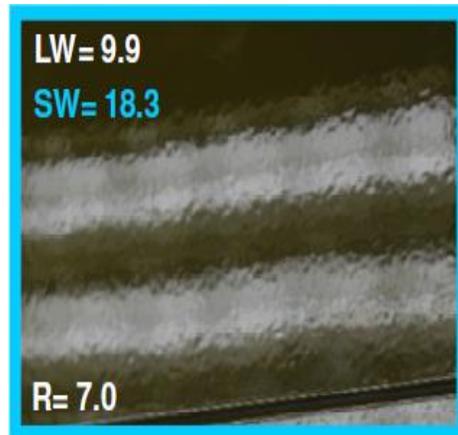
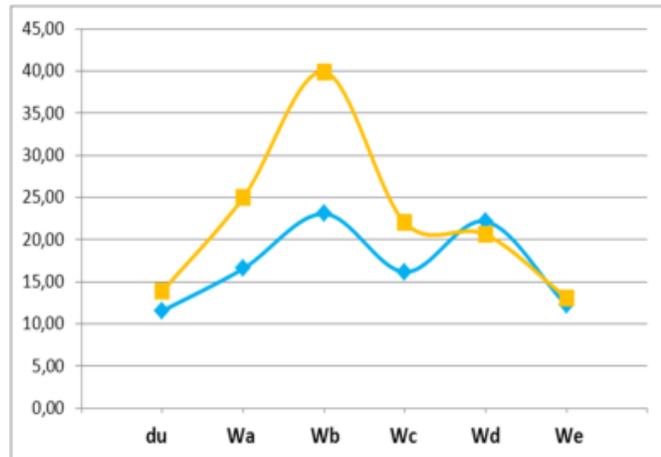


Figura 20 - Pintura Seca e Encascada



FONTE: (MARCHETTI, 2016)

Figura 21 - Curvas de espectro estrutural das Figuras 19 e 20

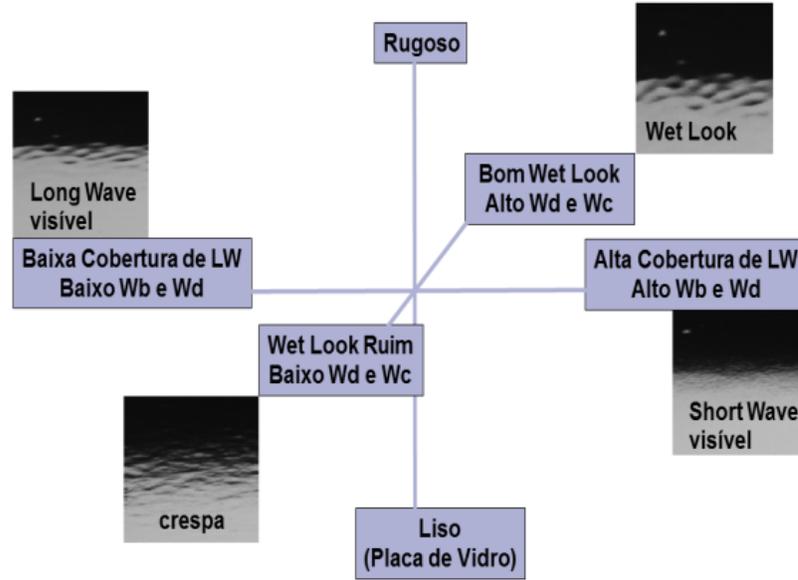


FONTE: (MARCHETTI, 2016)

Outros dois parâmetros, o *Longwave Coverage* (LC ou “cobertura de *longwaves*”) e o *Wet Look* (WL ou “aspecto molhado”), são baseados em observações dos tipos de aparência relatados na Figura 22. O LC, dependente dos parâmetros Wb e Wd, rompe com a cultura de monitoramento da aparência ou da casca de laranja apenas por LW. Ele assume que a aparência final é comandada pelas SW estarem mais altas ou mais baixas que as LW, as cobrindo ou mostrando, respectivamente. No caso de excesso de SW, ou seja, LC positivo e alto, ocorrerá uma aparência rechupada, identificada na região de SW visível na Figura 22. Em caso de LC negativo, ocorrerá uma aparência encascada, observado na região de LW visível na mesma figura. O Wet Look define se a pintura está com um aspecto mais seco (ou crespo) ou molhado, tanto se ela estiver encascada quanto rechupada. O WL depende dos parâmetros Wc e Wd, e caso o primeiro seja maior que o segundo, com o WL sendo negativo, ocorrerá o aspecto seco. Caso contrário, será observado o aspecto molhado, cujas aparências estão exemplificadas na Figura 22.

As equações (2) e (3) definem o cálculo de LC e WL e as curvas de espectro estrutural características de LC e WL positivos seguem nas Figuras 23 e 24. Essas curvas apresentam o formato ideal para uma boa aparência, sendo denominadas curvas no formato do “pão de açúcar” ou “costas de camelo”. Porém, apenas com os parâmetros LC e WL não é possível compreender a amplitude em que elas se encontram no espectro estrutural. Portanto, mesmo que tenha esse formato, se uma curva tiver uma alta amplitude, sua aparência será prejudicada de qualquer forma.

Figura 22 - Variações de LC e WL



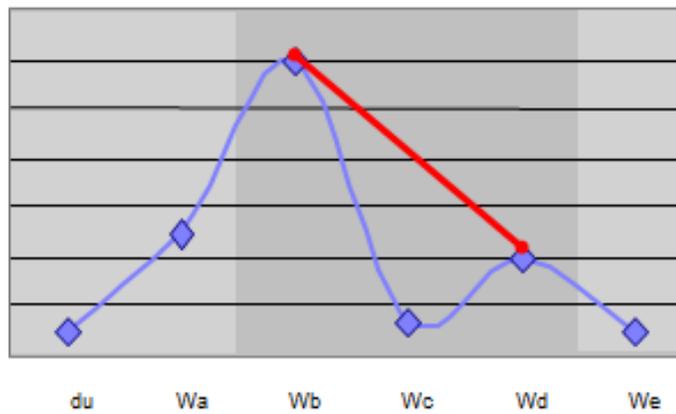
FONTE: (MARIGONDA, 2010)

$$LC = 100 \left(\frac{Wb - Wd}{Wb + Wd} \right) \tag{2}$$

$$WL = 100 \left(\frac{Wd - Wc}{Wd + Wc} \right) \tag{3}$$

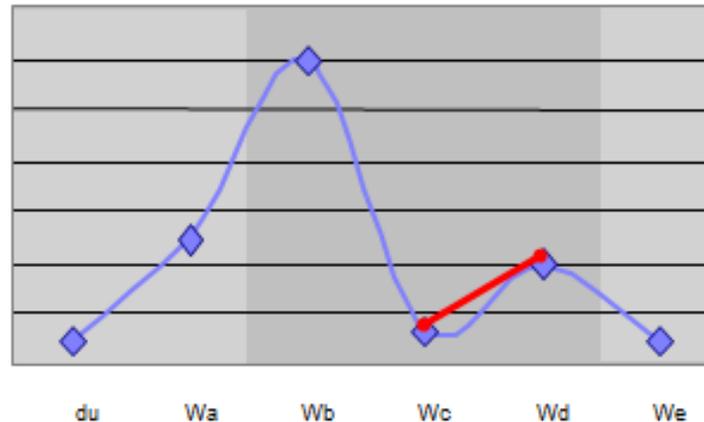
FONTE: (GARDNER, 2016)

Figura 23 - LC ideal



FONTE: (MARIGONDA, 2010)

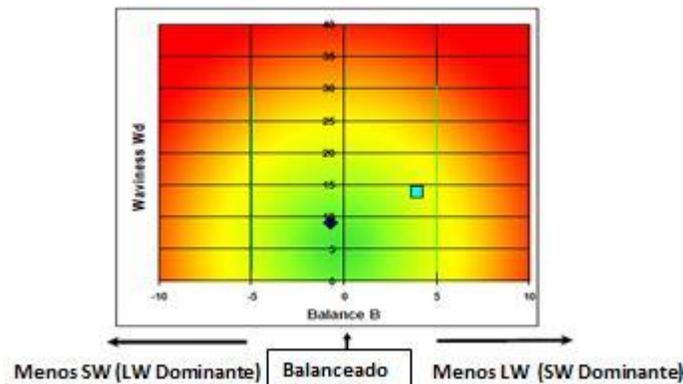
Figura 24 - WL ideal



FONTE: (MARIGONDA, 2010)

Na tentativa de criar um novo parâmetro, que além de simplificar a classificação de pinturas quanto à aparência, teria uma maior correlação com a avaliação visual, a AUDI, em parceria com outras montadoras e a empresa BYK Gardner, fabricante do *Wave-scan*, desenvolveu o *Balance Index* (B). O *Balance* leva como princípio que curvas com o perfil de “pão de açúcar”, com valores de Wd até 20, possuem uma similaridade no visual, mesmo que com amplitudes diferentes. Essas curvas seriam as balanceadas, com $B=0$. Qualquer distorção causada na curva, quanto à variação de Wb e Wd (parâmetros de cálculo do *Balance*), seria tolerada até valores de B entre -5 e 5, criando então a região de tolerâncias apresentada na Figura 25. A equação (4) demonstra o seu cálculo (MARIGONDA, 2010).

Figura 25 - Balance Chart



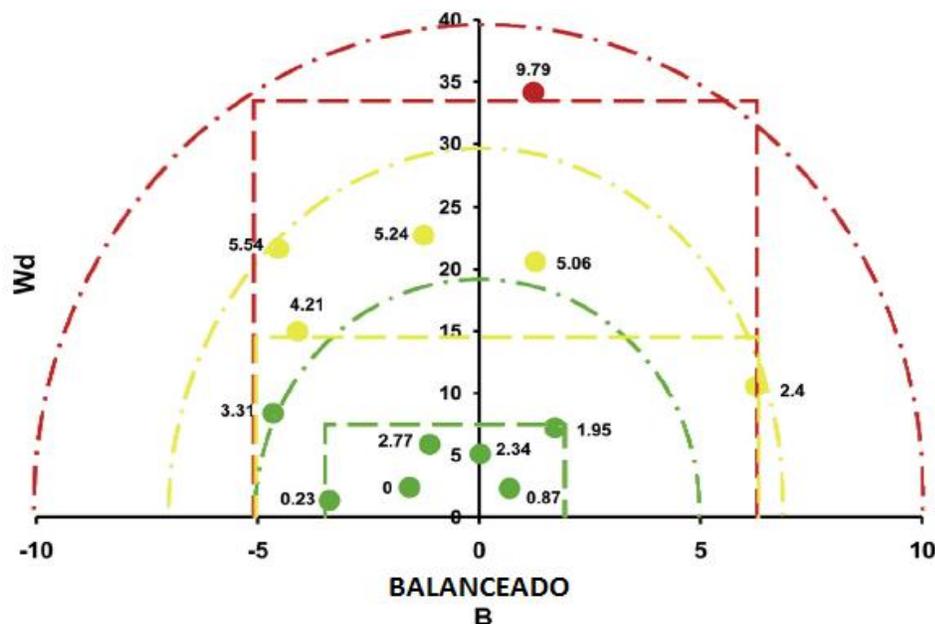
FONTE: (LEX, 2010) - Traduzido

$$B = 10 \left(\frac{Wb - Wb0}{Wb0} \right), \text{ onde } Wb0 = 6\sqrt{Wd} + 4 \quad (4)$$

Conforme estudo realizado por Ameri et al. (2014), esse parâmetro não pode ser relacionado diretamente à uma escala visual de aparência, visto que quando foram feitas análises visuais em algumas placas, a região de tolerâncias é distorcida, com a presença de pinturas rejeitadas visualmente que segundo o diagrama estariam aprovadas, o que é observado na Figura 26. Além disso, não há uma escala de aparência definida de acordo com os valores de *Balance*, nem uma definição do aspecto da pintura. Outra conclusão dos mesmos autores é que apenas o parâmetro *Wd*, utilizado no diagrama do *Balance*, pode ser associado à uma escala visual, conforme mostra a Figura 27.

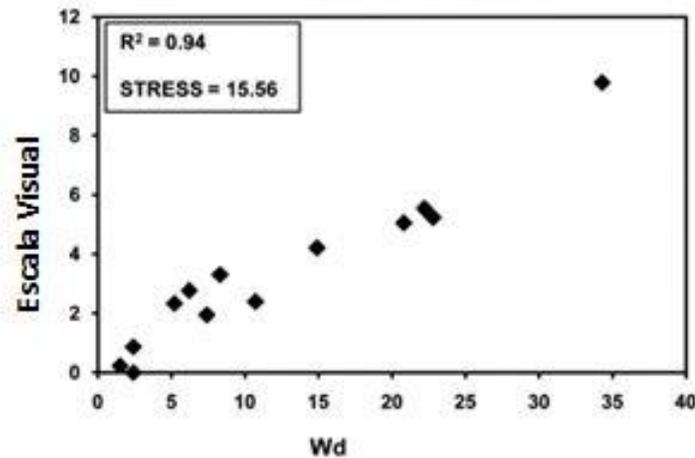
A Figura 28 faz parte de outro estudo que o parâmetro *Wd* é o que melhor representa uma escala visual de aparência dentre os avaliados pelo *Wave-scan*. Além disso, em relação ao estudo anterior, ela também mostra que o *Wd* possui essa vantagem também em relação aos parâmetros *SW* e *LW* para uma cor branca sólida de pintura de carroceria automotiva. O parâmetro *LW*, que tem relação direta com *Wd*, vem logo em seguida com o melhor ajuste (de acordo com o R^2).

Figura 26 - Balance Chart



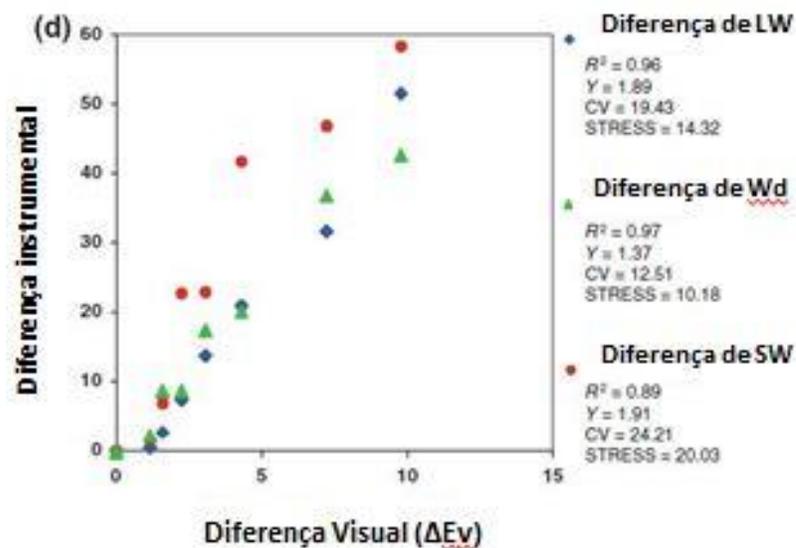
FONTE: (MARIGONDA, 2010)

Figura 27 - Correlação do parâmetro Wd e a análise visual



FONTE: (AMERI et al., 2014) – Traduzido.

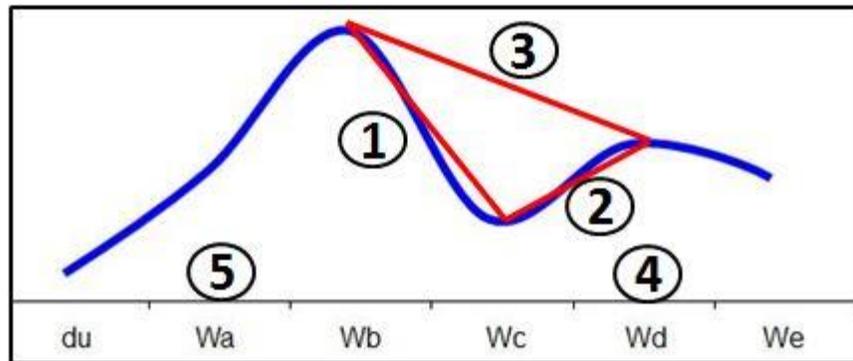
Figura 28 - Correlação os parâmetros W, SW e LW e a análise visual



FONTE: (AMERI et al., 2014) – Traduzido.

Várias montadoras tentam há muitos anos desenvolverem parâmetros próprios de aparência que tenham melhor correlação com a análise visual, o que o Rating e o Balance não conseguiram realizar. O FAM é um parâmetro definido com base em uma matriz que é composta por 5 condições, mostradas na Figura 29 que aplicam tolerâncias abrangendo todos os W's, com exceção do We, tornando-o promissor em relação ao *Balance*, que utiliza apenas os parâmetros Wb e Wd.

Figura 29 – Condições do parâmetro FAM

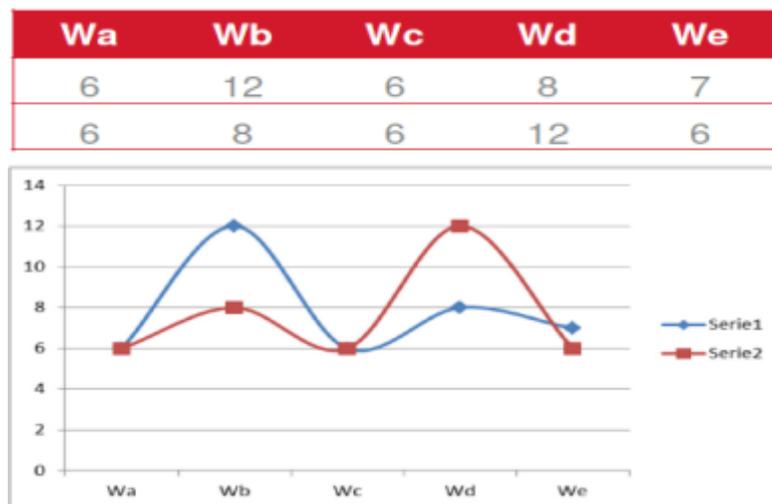


FONTE: (MARCHETTI, 2016)

As condições 1, 2 e 3 são fixas para todos os níveis de FAM, que varia de 1 à 12, e são relacionadas à garantia da forma da curva com o formato “pão-de-açúcar” ou costas de camelo, conforme mostra a Figura 30. Já as condições 4 e 5 controlam a amplitude das curvas, enquadrando-as diretamente em níveis, visto que as demais apenas garantem condições mínimas para avaliação da pintura. Dessa forma, é possível fazer algumas considerações:

- Na condição 2, é assegurado o aspecto molhado da pintura,;
- Nas condições 1 e 3 é assegurado que as *Shortwaves* serão maiores que as *Longwaves*, relacionando ao *Longwave Coverage*;

Figura 30 - Curvas de diferentes aspectos - FAM



FONTE: (MARCHETTI, 2016)

2.2. LINHAS DE PESQUISA E TENDÊNCIAS DE AVALIAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE APARÊNCIA

As discussões realizadas sobre a aparência de pinturas automotivas revelam que há muitas discontinuidades relacionadas ao processo, onde geralmente não há uma concordância dos parâmetros entre as regiões de um mesmo veículo ou quando ocorre variação de cor ou geometria dos mesmos.

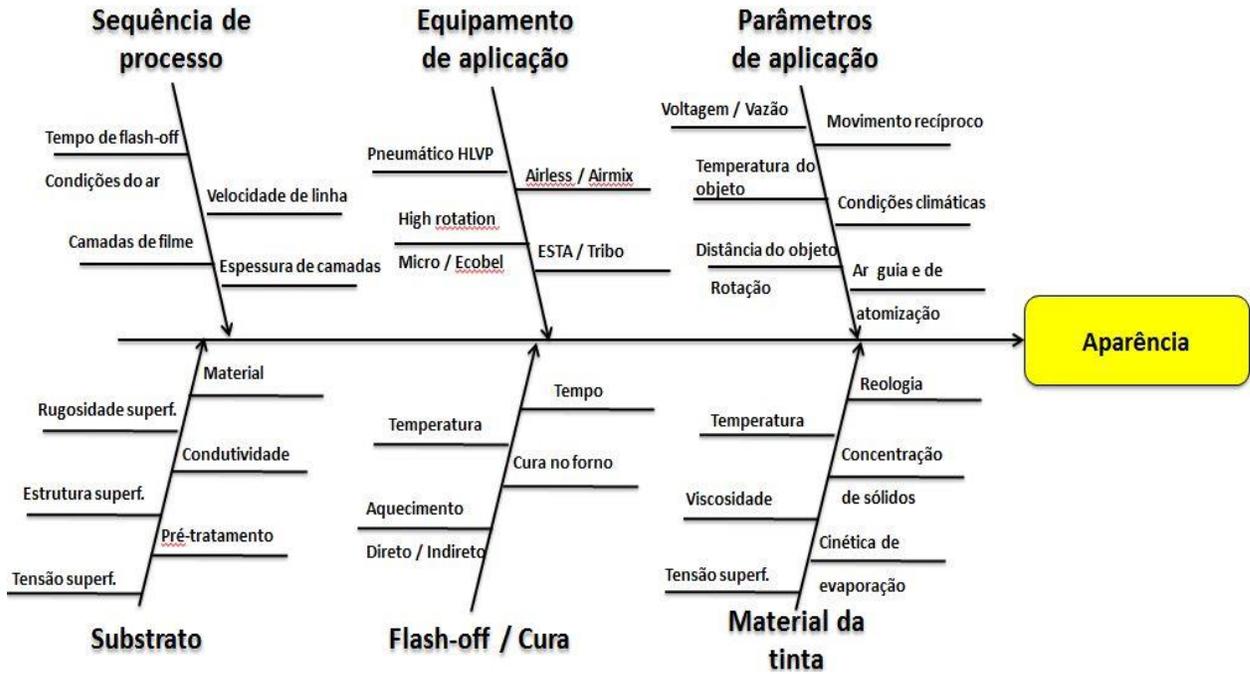
Para isso, são observadas algumas linhas de pesquisa, tanto na indústria quanto na academia, que buscam solucionar esses problemas atuando principalmente:

- Em modificações da formulação de revestimentos e no processo de aplicação;
- Na criação de novos modelos matemáticos que ofereçam dados mais refinados dos parâmetros de aparência ou gerem novos mais próximos da análise visual;

2.2.1. Otimização de parâmetros de processo e formulação dos revestimentos

Alguns parâmetros específicos do processo de pintura automotiva influenciam diretamente na qualidade final desses revestimentos. Alguns dos mais importantes são representados na Figura 31. Resumidamente, a formação da casca de laranja durante a aplicação de um revestimento se dá pelo tamanho das gotas de tinta e como ela interage com a superfície. Após a aplicação, inicia-se o processo de secagem e posteriormente a cura, onde a cinética de evaporação de solvente e cura do filme influenciará na forma que ele tomará ao final do processo.

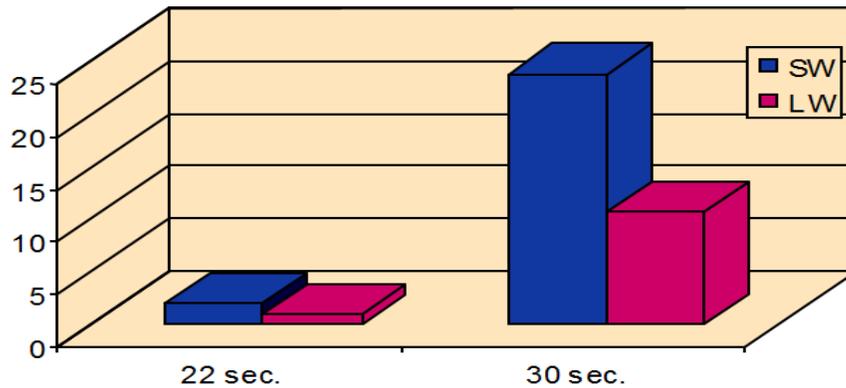
Figura 31 - Fatores mediadores da aparência



FONTE: (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007) – Traduzido.

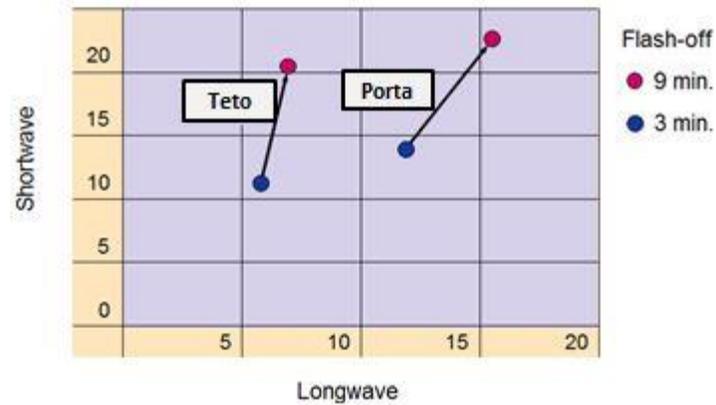
As Figuras 32 e 33 mostram a influência dos parâmetros viscosidade e tempo de Flash-off, revelando que quanto maior a viscosidade da tinta maiores serão os valores de SW e LW, e na Figura 15 já foi possível observar a influência da espessura do *Clear Coat*.

Figura 32 - Influência da viscosidade nos parâmetros SW e LW.



FONTE: (MARIGONDA, 2010)

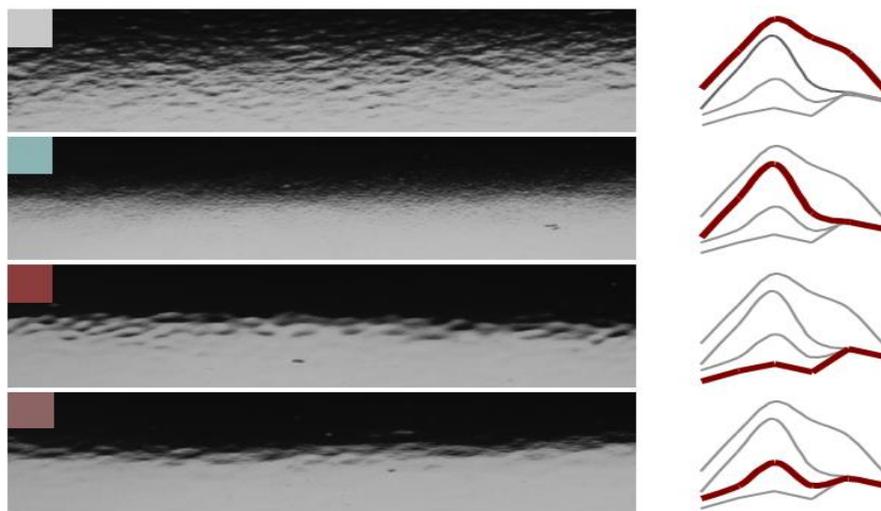
Figura 33 - Influência do tempo de Flash-off nos parâmetros SW e LW



FONTE: (MARIGONDA, 2010) – Traduzido.

Durante o processamento algumas operações podem ser realizadas para otimizar os parâmetros de aparência do revestimento. Para maximizar a qualidade da aparência, podem ser feitas operações conjuntas, que atuam de forma sinérgica na qualidade final da pintura. A Figura 34 ilustra um revestimento que inicialmente possuía uma alta casca de laranja e passou por aumento da espessura do *Clear Coat* e por lixamento do primer. A última curva demonstra a superfície na qual as duas operações realizadas em conjunto, onde é visível a melhora da aparência.

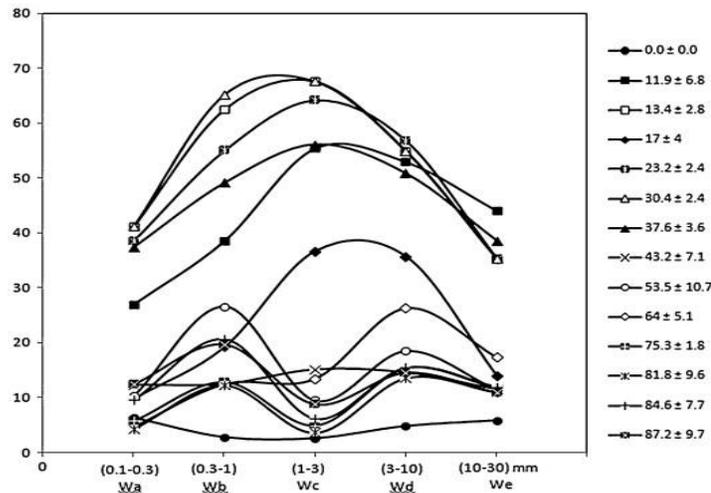
Figura 34 - Otimização de aplicação do *Clear Coat* e Lixamento do Primer



FONTE: (MARIGONDA, 2010)

O estudo realizado por Amookht et al. (2013) buscou avaliar a influência da variação de espessura da camada de *Clear Coat*, base poliuretânica com 30% de partículas metálicas, e *Base Coat*, base poliéster/melamina, em parâmetros de aparência como brilho, DOI, *Haze* e a estrutura espectral dos revestimentos. Uma espessura de *Clear Coat* de 11,7 μm já foi capaz de gerar uma superfície de alto brilho. O parâmetro *Haze* permaneceu em valores mínimos a partir de 13,6 μm , demonstrando ser bastante afetado pela espessura do *Clear Coat*. Porém, para maximizar os valores de *DOI*, foi demandada uma espessura de 43,2 μm , valor que coincide com o deslocamento das curvas espectrais para valores menores que 30, como pode ser observado na Figura 35.

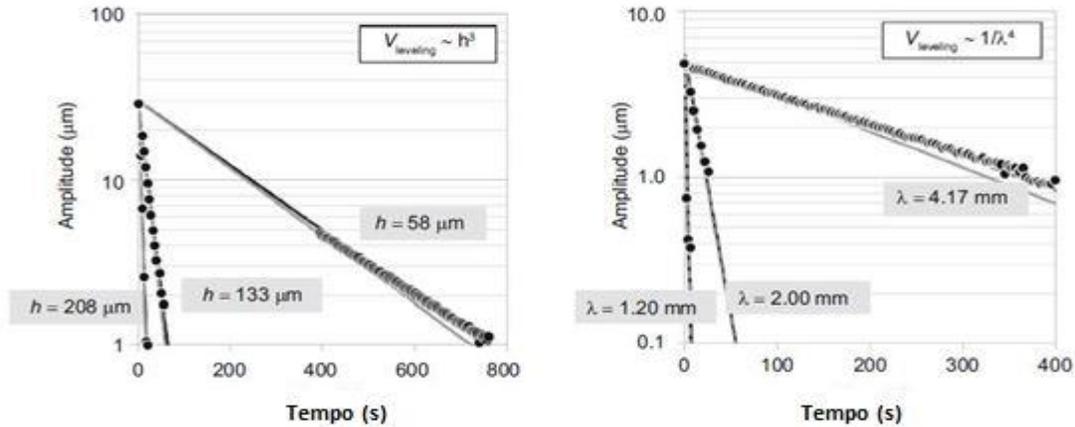
Figura 35 - Variação dos parâmetros do Wave-scan com a espessura do *Clear Coat*



FONTE: (AMOOKHT, et al., 2013)

Segundo Seeler et al. (2017), a forma como ocorre a secagem do filme é secundária em relação à morfologia obtida após a aplicação do revestimento. Isto quer dizer que, mesmo que as variáveis que governam a secagem e a cura do filme sejam controladas, se o substrato não estiver com uma superfície lisa e os parâmetros de aplicação não produzirem uma distribuição de tamanho de gotas adequado, a aparência será prejudicada. A Figura 36 mostra a influência da amplitude inicial do filme, ou seja, sua rugosidade, e sua ondulação na velocidade de nivelamento do revestimento. Quanto maior o primeiro e menor o segundo, respectivamente, mais rápido o filme conseguirá ser nivelado durante a cura/secagem.

Figura 36 - Influência dos parâmetros amplitude e ondulação na velocidade de nivelamento



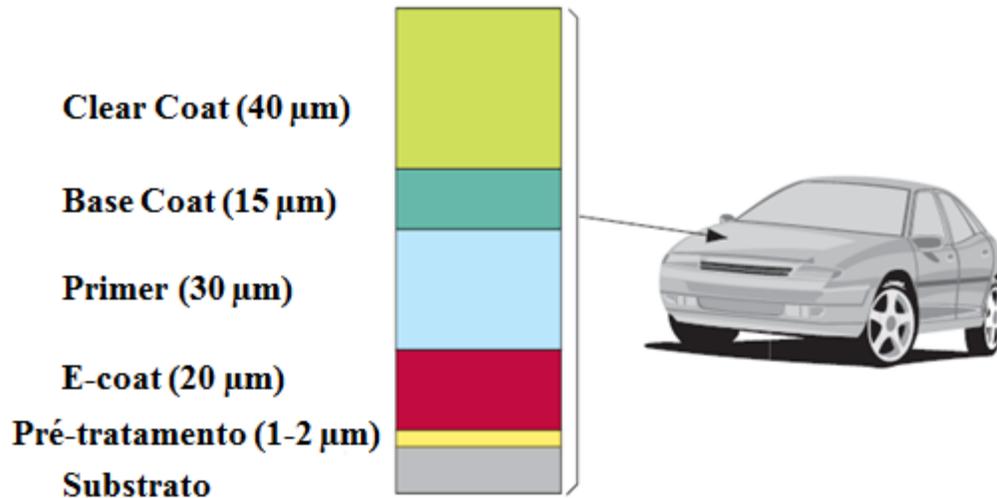
FONTE: (SEELER et al., 2017) – Traduzido.

2.2.2. Correlação entre aplicação e aparência

A pintura de carrocerias automotivas é realizada na maioria das vezes dentro da própria montadora. O substrato metálico é revestido por 5 camadas (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007):

- Pré-tratamento de um fosfato metálico, para proteção anti-corrosiva e preparação da superfície para camadas superiores;
- E-coat, também para proteção anti-corrosiva;
- Primer, com função de corrigir irregularidades da superfície, propriedades mecânicas e também proteção contra corrosão;
- *Base Coat*, para conferir cor ao revestimento;
- *Clear Coat*, para melhorar a aparência, conferindo brilho e corrigindo irregularidades;

Figura 37 - Camadas de pintura automotiva



FONTE: (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007)

O processo mais empregado para aplicação de *Base Coat* e *Clear Coat* é a aplicação eletrostática através de sinos rotacionais, onde a carroceria previamente eletrizada passa por robôs que possuem sinos giratórios em seus bocais, para onde é bombeada a tinta, conforme representado na Figura 38. A combinação do bombeamento de tinta com a giração do sino gera sua atomização, que pode variar de acordo com parâmetros como vazão, rotação, ar de leque (ar que controla o direcionamento da tinta), tensão, entre outros.

No trabalho realizado por Ellwood et al. (2013), foi criado um modelo a fim de estimar a correlação entre parâmetros de aplicação de tintas através de sinos rotacionais e parâmetros de aparência medidos pelo *Wave-scan* como W_c e W_d . A analogia foi realizada considerando o diâmetro das gotas formadas. Com a modelagem, em função dos parâmetros raio do sino (r), vazão (Q) e rotação do sino (w), chegaram à seguinte relação:

$$\text{Aparência} \propto \left(\frac{Q}{\pi r^2 w^2} \right) \quad (5)$$

Figura 38 - Sino rotacional para aplicação de pintura automotiva



FONTE: (GOLDSCHIMDT; STREITBERGER, 2007) – Traduzido.

Realizando as medições dos valores de W_c e W_d em função de Q e w , em revestimentos base solvente, o grupo obteve os seguintes ajustes através dos experimentos:

$$W_c \propto \left(\frac{Q}{w^{1,85}} \right)^{0,4} \quad \text{e} \quad W_d \propto \left(\frac{Q}{w^{1,5}} \right)^{0,3} \quad (6)$$

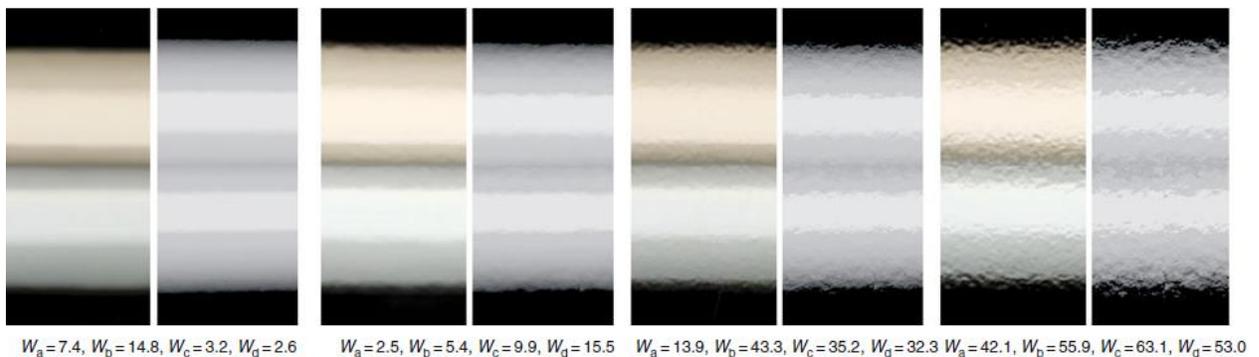
Com o modelo, pode-se estimar que a relação entre W_c e W_d para as variáveis vazão e rotação são direta e inversamente proporcionais, respectivamente. Os resultados são contundentes, visto que quanto maior a vazão, maior o tamanho da gota formada até que se desprenda da extremidade do sino, assim como quanto menor for a rotação.

Segundo Ahmad et al. (2018), os parâmetros ar guia e tensão contribuem apenas para o transporte de material do sino até a superfície de aplicação.

2.2.3. Simulação da análise visual

No trabalho produzido por Konieczny e Meyer (2009), o conceito utilizado de modelagem de superfícies foi aplicado para a otimização da aparência de revestimentos em geral. A formulação da ideia consistiu em coletar os dados do *Wave-scan* (valores de W_a , W_b , W_c , W_d e W_e), criar graficamente superfícies para cada valor de W separadamente e depois realizar uma compilação entre elas. Com isso, seria possível projetar a melhor combinação entre esses valores para produzir uma superfície com aparência satisfatória, em uma plataforma virtual, o que facilita a transposição dos dados quantitativos para a análise visual, além de direcionar a otimização dos parâmetros de processo para a criação de superfícies com os parâmetros de aparência que foram projetados virtualmente. A Figura 39 demonstra a validação dessa metodologia, onde as imagens do lado esquerdo se tratam de uma superfície real e as da direita da superfície produzida virtualmente.

Figura 39 - Comparação de superfícies reais com produzidas virtualmente



FONTE: Konieczny e Meyer (2009)

No mesmo trabalho desenvolvido por Konieczny e Meyer (2009), o refinamento dos dados para projetar as superfícies se deu com base nesse fundamento. Nesse sentido, percebeu-se que a luminosidade e o brilho das superfícies influenciam na percepção humana da casca de laranja, havendo uma diferença mínima de luminosidade e brilho para que uma pessoa perceber a diferença de profundidade entre um pico e um vale.

Para validar essa hipótese, e conseqüentemente a metodologia definida por eles, foi realizado um procedimento experimental: foram selecionados observadores para avaliar placas com

diferentes valores de luminosidade (uma cor mais clara e outra mais escura), com a mesma casca de laranja. Foi perguntado a cada um deles qual possuía a pior aparência, definida como a que possuía o aspecto mais rugoso, onde 77% das respostas foram que as placas mais escuras possuíam pior aparência. Portanto, concluiu-se que altos valores de luminosidade ofuscam a visibilidade do efeito de casca de laranja.

Outros autores como Jafari e Ameri (2018) também já comprovaram através de outras metodologias que quanto maior a luminosidade, mais difícil de se visualizar a casca de laranja.

2.2.4. *Pintura de partes plásticas automotivas e Design of Experiments*

Alguns componentes externos como os para-choques, spoiler e retrovisores são fabricados em material plástico para diminuição de peso do veículo ou até mesmo melhorar a performance. No caso dos para-choques por exemplo, dependendo do *design* do veículo, esse componente pode fazer *matching* com regiões como para-lamas, lateral e coluna C.

Por se tratarem de materiais com diferentes composições, processos e tecnologias de pintura em relação à carroceria, essas regiões apresentarão aparência completamente diferente. Para isso, devem-se adotar estratégias que minimizem essas diferenças e mantenham a casca de laranja dentro de níveis aceitáveis.

No trabalho de SOUZA et al. (2013) foi utilizada a metodologia de *Design of Experiments* (DOE) com o software estatístico *Minitab* para analisar a influência dos parâmetros de aplicação de tintas para para-choques automotivos na aparência final do componente. Essa metodologia consiste na seleção de fatores de controle, no caso os parâmetros de aplicação, numa faixa de trabalho, geralmente com dois ou três níveis, para a obtenção de fatores ruído ou de resposta, no caso os parâmetros de aparência, tentando estabelecer uma correlação entre eles através de um modelo e diagramas de interação. O DOE é uma excelente ferramenta para esse tipo de análise por conseguir traduzir o efeito de determinados fatores em uma resposta minimizando o número de experimentos, através da seleção de fatores controlados.

O grupo selecionou os parâmetros velocidade, vazão, ar de atomização (ar), rotação (Rpm) e tensão como fatores de controle, em três níveis diferentes, e os parâmetros SW e LW como os de saída. Para análise da influência de cada parâmetro e a interação entre eles na aparência, também foi realizada a análise de variância ou ANOVA, onde através dos parâmetros seqSS e/ou

adjSS (erros quadrados sequenciais e ajustados) avalia-se a quantidade de variação no fator resposta explicada pelo parâmetro de aplicação e do parâmetro P avalia-se a confiabilidade da análise. Conforme visto na Figura 40, apenas as variáveis vazão, ar, rotação, tensão e a interação velocidade*tensão demonstraram influência significativa no parâmetro LW, com confiabilidade acima de 95%, ou seja, $p < 0,05$.

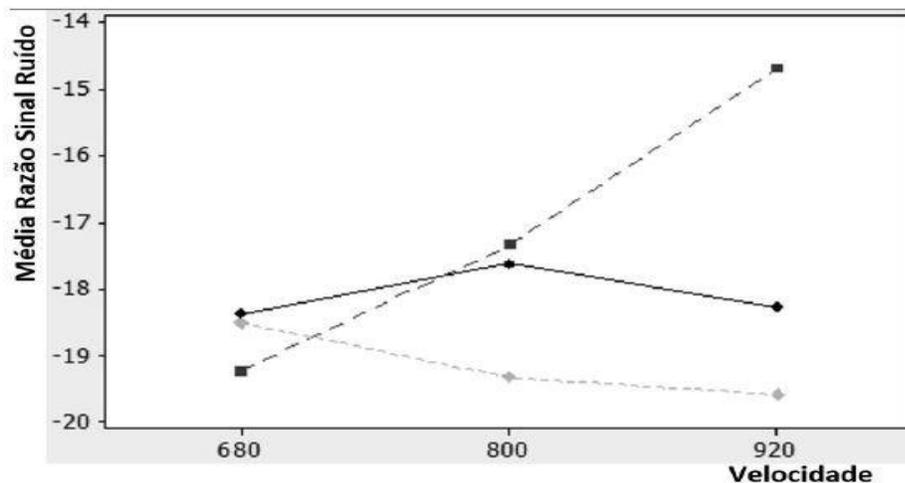
A Figura 41 mostra o gráfico de interação para os parâmetros velocidade e tensão nos três níveis testados. Como as retas não estão paralelas, ou seja, a variação dos níveis dos parâmetros geram diferentes comportamentos em relação ao LW, pode-se dizer que há interação entre os parâmetros, assim como adiantando pela ANOVA.

Figura 40 - Análise de variância

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Velocidade	2	6.390	6.390	3.195	3.10	0.154
Vazão	2	16.904	16.904	8.452	8.19	0.039
Ar	2	40.737	40.737	20.369	19.74	0.008
Rpm	2	22.525	22.525	11.262	10.91	0.024
Tensão	2	19.127	19.127	9.563	9.27	0.032
Velocidade*Tensão	4	27.919	27.919	6.980	6.76	0.046
Vazão*Tensão	4	17.316	17.316	4.329	4.19	0.097
Rpm*Tensão	4	21.158	21.158	5.290	5.13	0.071
Residual Error	4	4.128	4.128	1.032		
Total	26	176.205				

FONTE: (SOUZA et al., 2013)

Figura 41 - Gráfico de interação velocidade*tensão



FONTE: (SOUZA et al., 2013)

3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Foi realizada a análise visual e instrumental de automóveis de diferentes modelos, também variando as cores. Nesta etapa foram analisadas diferenças entre as posições verticais e horizontais e substratos metálicos e poliméricos, para cada cor e geometria, sendo elas comparadas entre si posteriormente.

A análise também levou em conta aspectos relacionados ao processo, como parâmetros e sequência de aplicação do robô de pintura, porém não foi objetivo central do estudo. As medições instrumentais foram realizadas na linha de pintura (onde é possível fazer somente medições na carroceria, ou seja, partes metálicas) e em carros que passassem pela qualidade, para medição em substratos poliméricos e análise visual mais minuciosa, com o carro completamente montado.

Para análise geral da aparência de cores e veículos, foram realizadas medições nos carros Hatch I, Hatch II e Pick Up, nas cores Branco Sólido, Preto Sólido, Vermelho Sólido, Cinza Metálico e Prata, sendo 9 medições para cada cor/carro, sendo 3 do mesmo lote para 3 lotes e dias diferentes. As regiões, presentes nas Figuras 103 à 105 e na Tabela no Anexo I, foram divididas entre horizontais (verde), verticais (amarelo) e verticais críticas (vermelho). Foram calculadas as médias e desvios de aparência geral e para cada divisão, sendo que o desvio padrão serviu de referência para homogeneidade da aparência.

Em relação à avaliação de partes plásticas, foram realizadas medições nos veículos Hatch I e Hatch II, nas mesmas cores da análise anterior, nos para-choques anterior e posterior, retrovisores e spoiler, sendo esses dois últimos apenas para o Hatch I. Também foram calculadas as médias e desvios de aparência geral para cada componente.

A mesma análise foi feita em veículos da concorrência, de montadoras coreanas, japonesas, alemãs e americanas e nos produzidos nas plantas de Pernambuco e Argentina da montadora em estudo, para comparar os aspectos de pintura observados nos da planta de Betim. Ao total, foram medidos 9 carros de cores sólidas (4 concorrentes, 4 de Pernambuco e 1 da Argentina) e 14 carros de cores com efeito (9 concorrentes, 4 de Pernambuco e 1 da Argentina).

Para análise de geometria, foi realizado um DOE, com experimento fatorial completo, tendo como fatores Veículo (níveis Hatch I e Hatch II), Turno (níveis manhã e tarde) e Região. Para análise deste último fator, os veículos foram divididos em 6 zonas, que estão descritas com seus níveis na Tabela 2. Para cada zona, foram utilizados três fatores (carro, com os níveis Hatch I e

Hatch II, regiões, com os níveis das zonas e turno, com os níveis manhã e tarde). Foram realizadas 4 réplicas para cada experimento, totalizando 48 medições para todas as zonas, com exceção da Zona 4, onde foram realizadas 3 réplicas. A Figura 106 mostra o exemplo da planilha gerada pelo Minitab para a zona 1.

A cor escolhida foi o Cinza Metálico, por ser uma cor onde o *Base Coat* (camada de tinta que confere cor ao revestimento) tem parâmetros de aplicação uniformes em todas as regiões e nos dois veículos. Em relação ao verniz, que se trata da última camada aplicada na pintura, os parâmetros de aplicação variam entre as regiões de cada veículo, mantendo-se os mesmos para todas as cores.

As medições foram feitas em diferentes horários, dias e semanas dos meses de Agosto e Setembro de 2018, para que os resultados fossem válidos para diferentes condições, principalmente de temperatura e humidade, que variam de acordo com o clima.

Para interpretação desses resultados, foi utilizado o modelo da Equação 5 e também foram feitas medições com o aparelho Wave-scan em 5 carrocerias de Hatch I e Hatch II revestidas até a camada de Primer.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

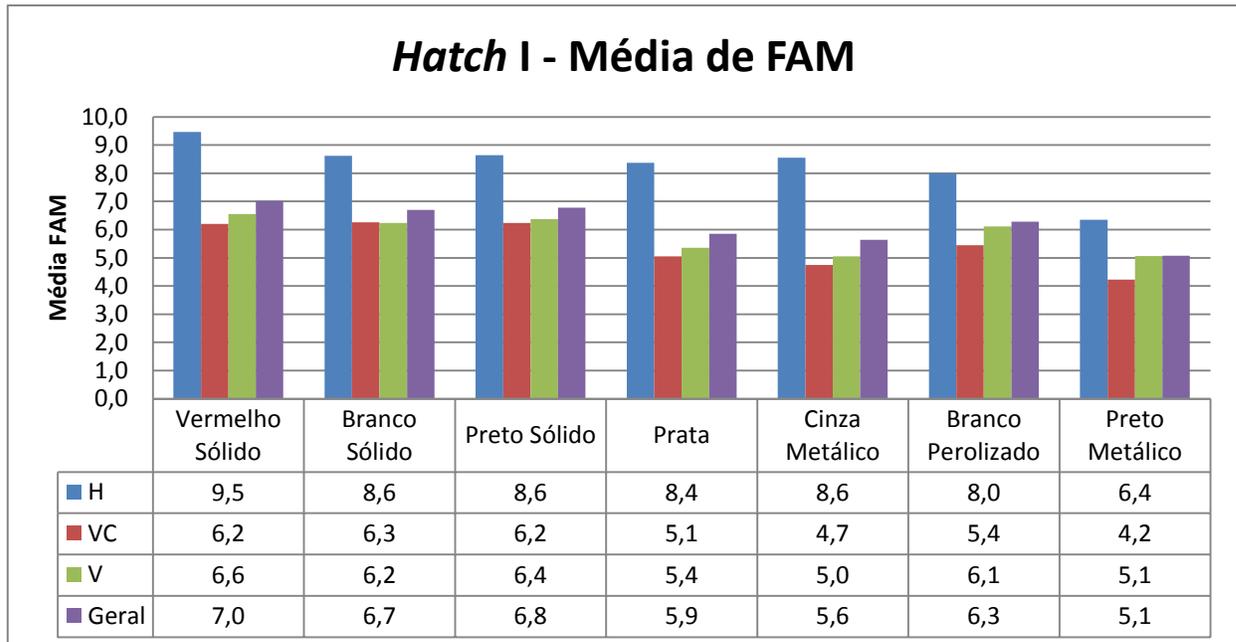
4.1 AVALIAÇÃO DOS VEÍCULOS

4.1.1 *Análise Geral*

As Figuras de 42 à 44 mostram os valores médios de FAM para as cores analisadas, nas regiões horizontais, verticais, verticais críticas e no geral dos veículos Hatch I, Hatch II e Pick Up. De modo geral, as cores com efeito Prata, Cinza Metálico, Preto Metálico e Branco Perolizado apresentaram os menores valores de FAM, portanto os piores níveis de casca de laranja.

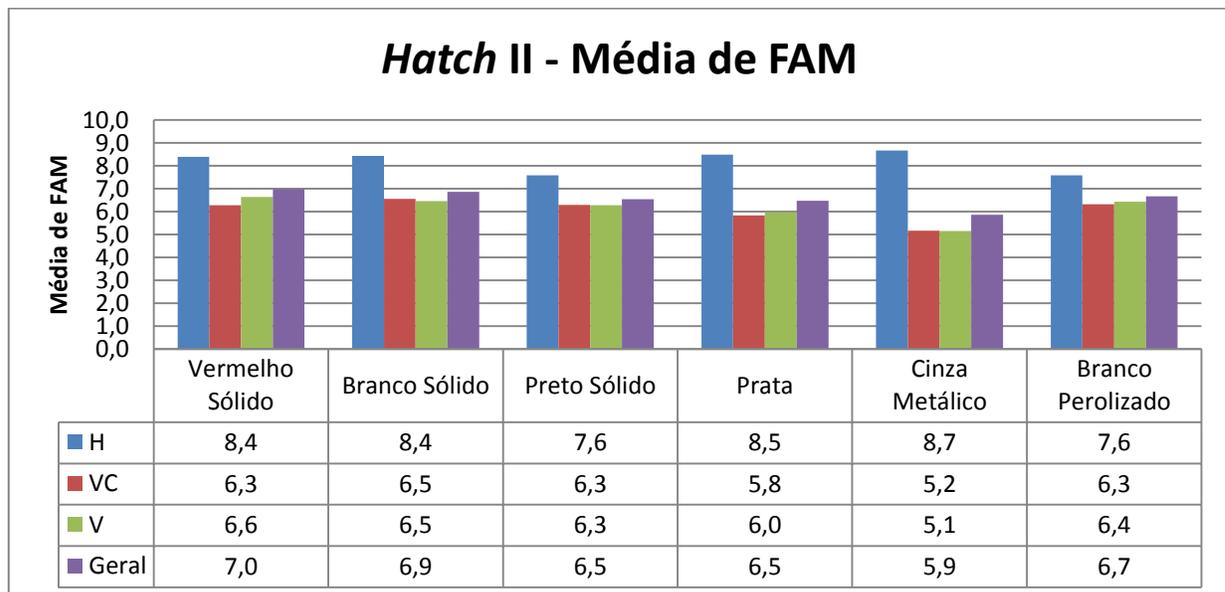
Para o veículo Hatch I, a cor mais crítica foi o Preto Metálico, que também obteve o pior valor de FAM dentre todos os veículos e cores analisados. Além disso, suas verticais críticas apresentaram valor médio de 4,2, abaixo do permitido pela norma interna (5,0 para regiões verticais e 6,0 para horizontais). Para o mesmo veículo, a cor Cinza Metálico também teve suas verticais críticas com valor médio de FAM abaixo da norma, com 4,7. A cor com melhor desempenho nos três veículos foi o Vermelho Sólido (sólido) e tanto ela quanto as demais cores apresentaram valores de FAM próximos nos três veículos, com exceção do Cinza Metálico para o veículo Hatch I.

Figura 42 - Hatch I Média de FAM



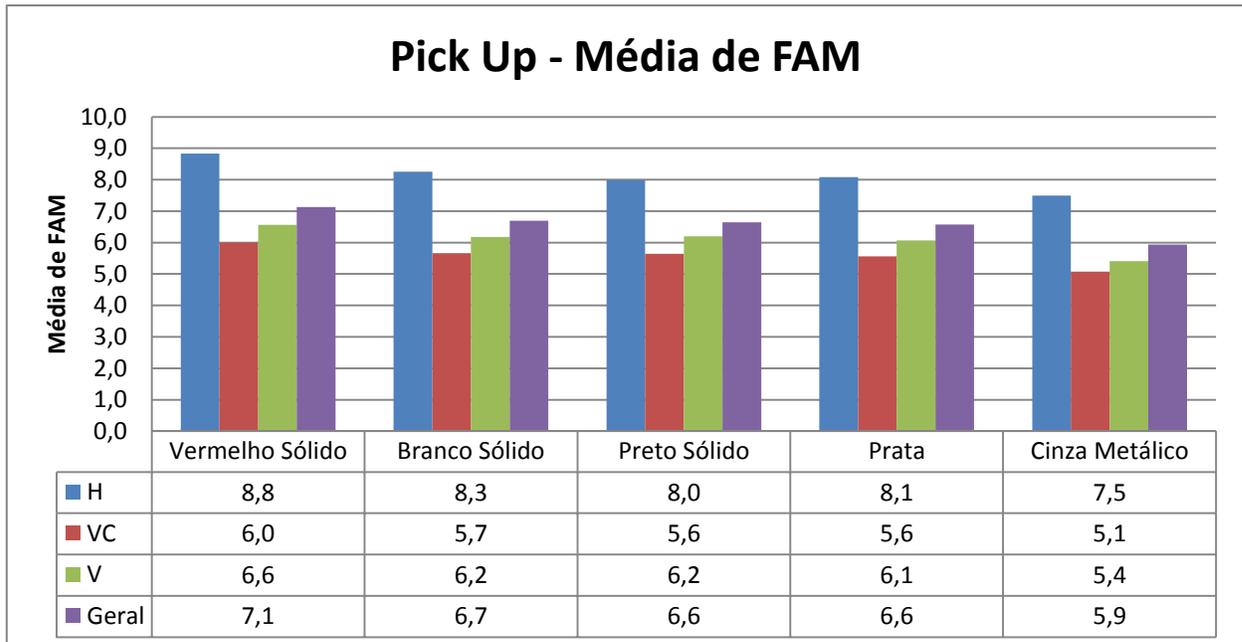
FONTE: Próprio autor.

Figura 43 - Hatch II Média de FAM



FONTE: Próprio autor.

Figura 44 - Pick Up Média de FAM

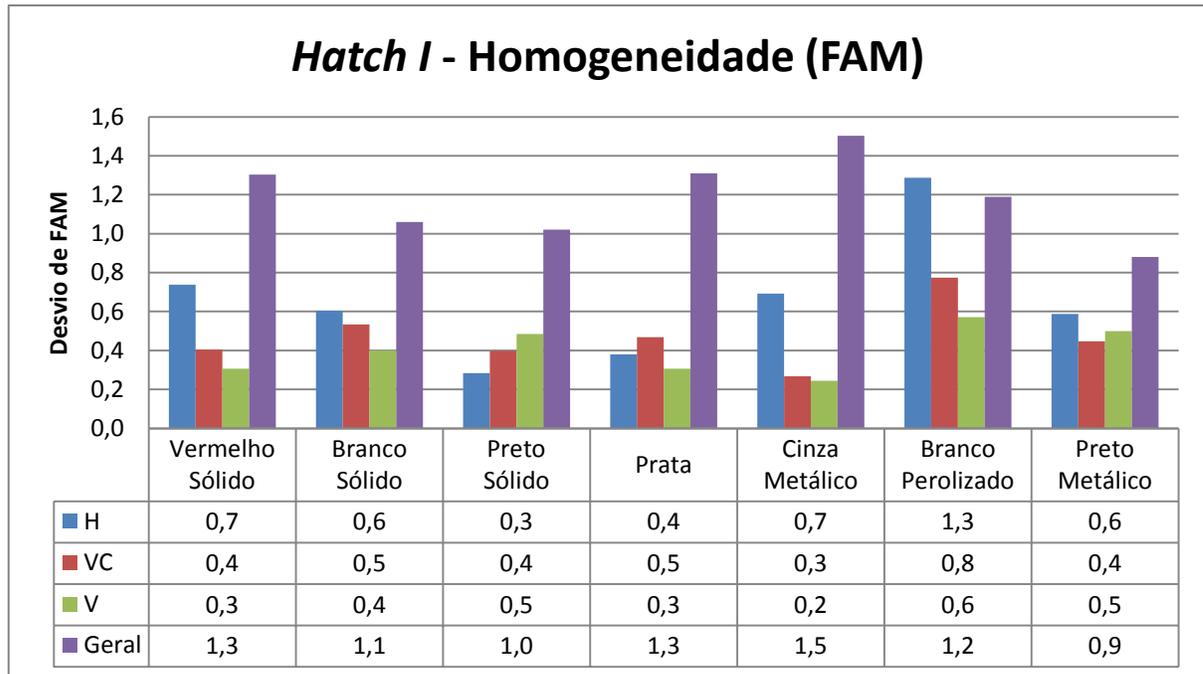


FONTE: Próprio autor.

Para análise da homogeneidade de aparência entre os veículos e cores, foram calculados os desvios da aparência, em relação ao parâmetro FAM, para as divisões de regiões e também no veículo todo, conforme demonstrado nas Figuras de 45 à 47.

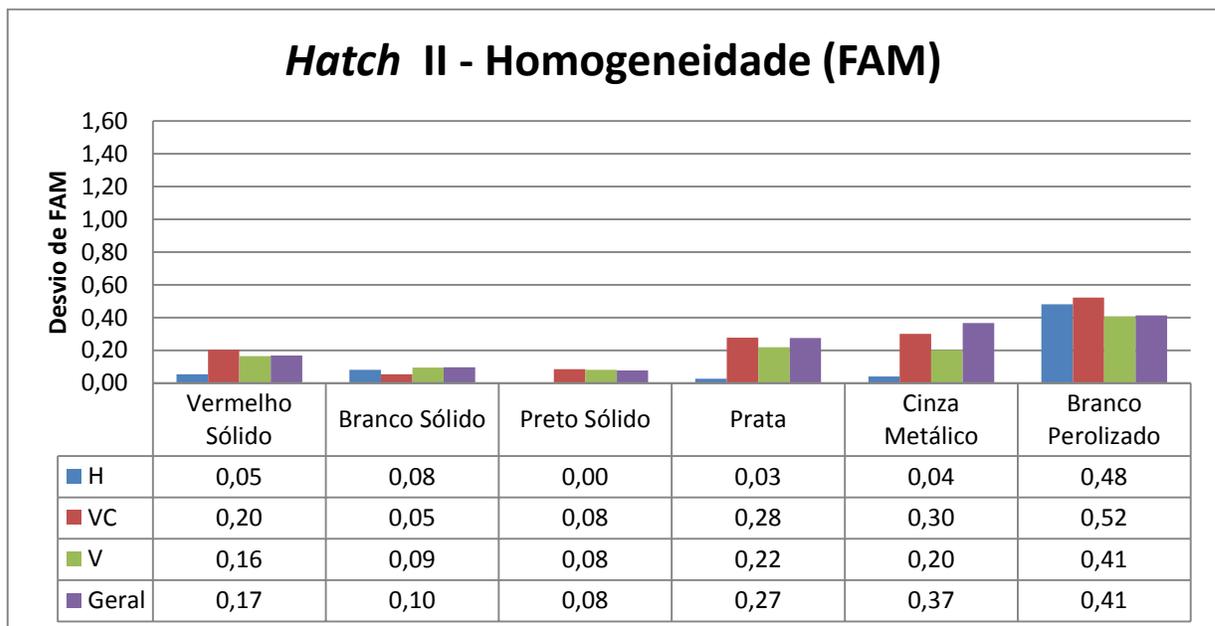
O veículo Hatch I foi o que apresentou maior variação de aparência entre as regiões avaliadas, com desvios variando de 0,9 para a cor Preto Metálico à 1,5 para o Cinza Metálico. No Hatch II, a aparência foi mais homogênea, com desvio máximo de 0,4 para a cor Branco Perolizado. No geral, as cores com efeito se mostraram mais heterogêneas, principalmente nos veículos Hatch I e Hatch II. Na Pick Up, todas as cores tiveram praticamente o mesmo desvio, variando entre 1,1 e 1,0. Outro ponto é que além de os desvios serem mais altos, essas cores tiveram médias de FAM próximo de 5,0, que se trata do limite permitido pela norma, portanto haviam regiões com aparência abaixo do permitido por norma, tanto nas verticais como nas verticais críticas.

Figura 45 - Hatch I Desvio de FAM



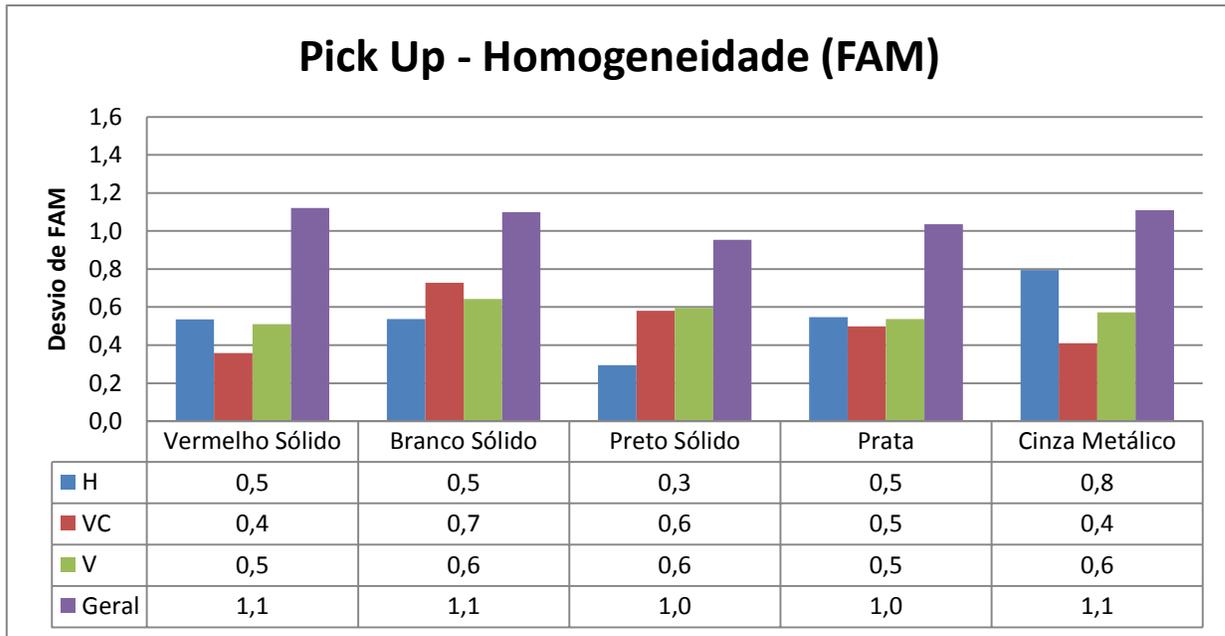
FONTE: Próprio autor.

Figura 46 - Hatch II Desvio de FAM



FONTE: Próprio autor.

Figura 47 - Pick Up Desvio de FAM

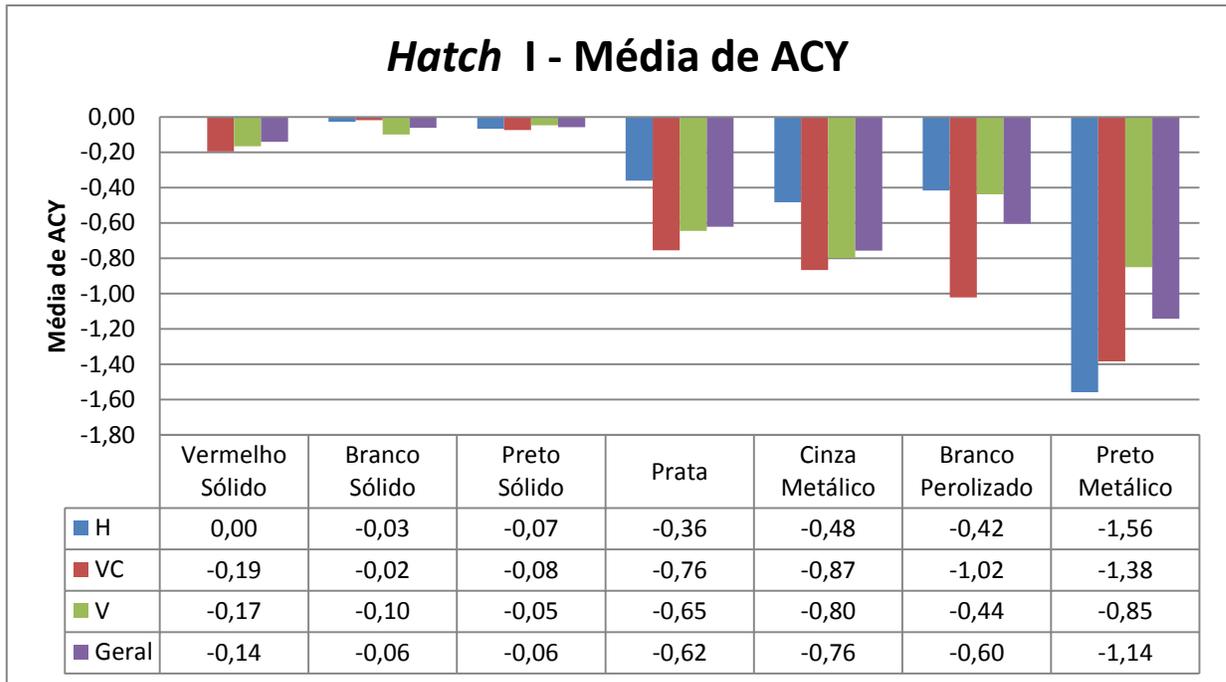


FONTE: Próprio autor.

Através da ferramenta *Data Analysis* do software *Smart Chart*, da empresa *Byk Gardner*, são geradas automaticamente as curvas de espectro estrutural das regiões analisadas em cada veículo. Além disso, são gerados os diagramas de aparência do parâmetro FAM, que possui um parâmetro de precisão denominado *Accuracy*. Segundo a norma interna da montadora o *Accuracy* não possui nenhuma tolerância, apenas deve ser interpretado como uma medida da precisão da medição de aparência.

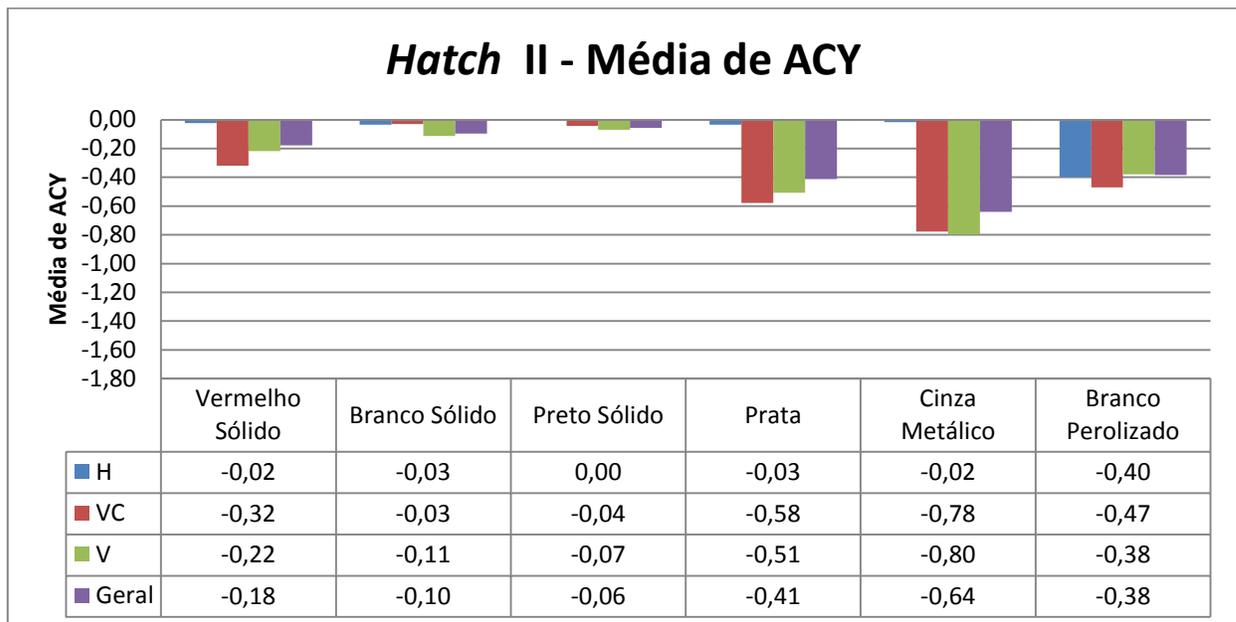
As Figuras de 48 à 50 mostram as médias de *Accuracy* e as de 51 à 53 seus respectivos desvios para os carros em análise. Nota-se que seus valores variam de 0 à -1,56, para a cor Preto Metálico. Também é perceptível para todos os veículos que as cores metálicas apresentam os menores valores, portanto, segundo a interpretação prevista pela norma, são as medições menos precisas.

Figura 48 - Hatch I Média de ACY



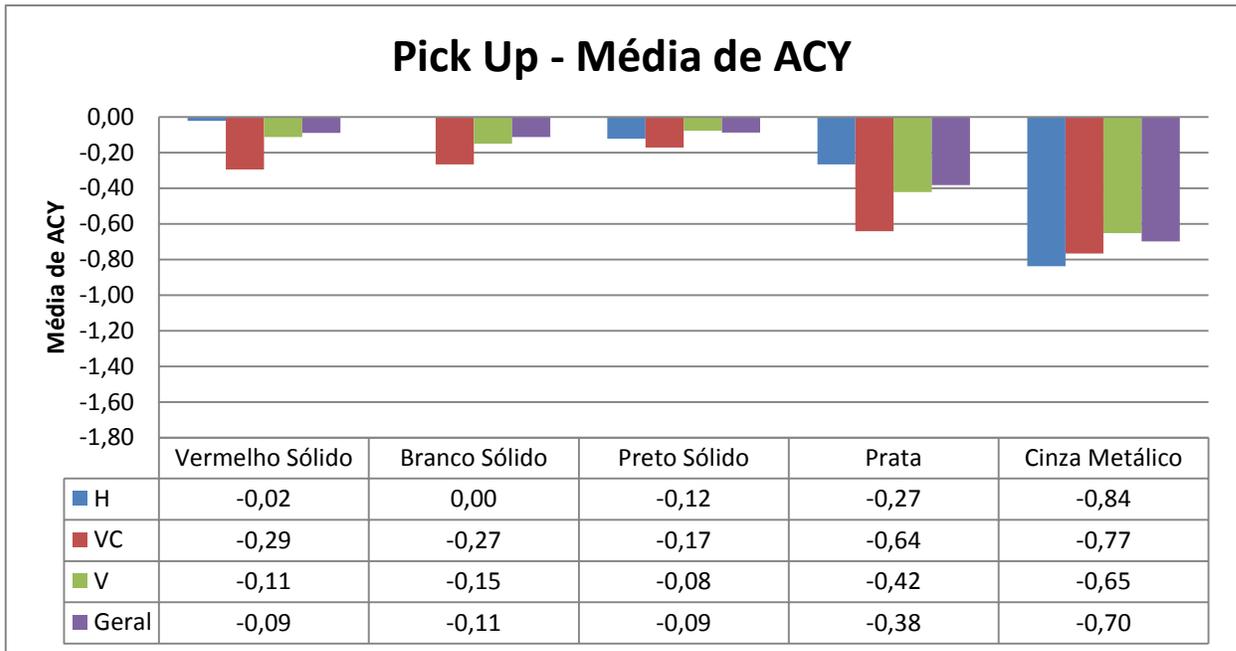
FONTE: Próprio autor.

Figura 49 - Hatch II Média de ACY



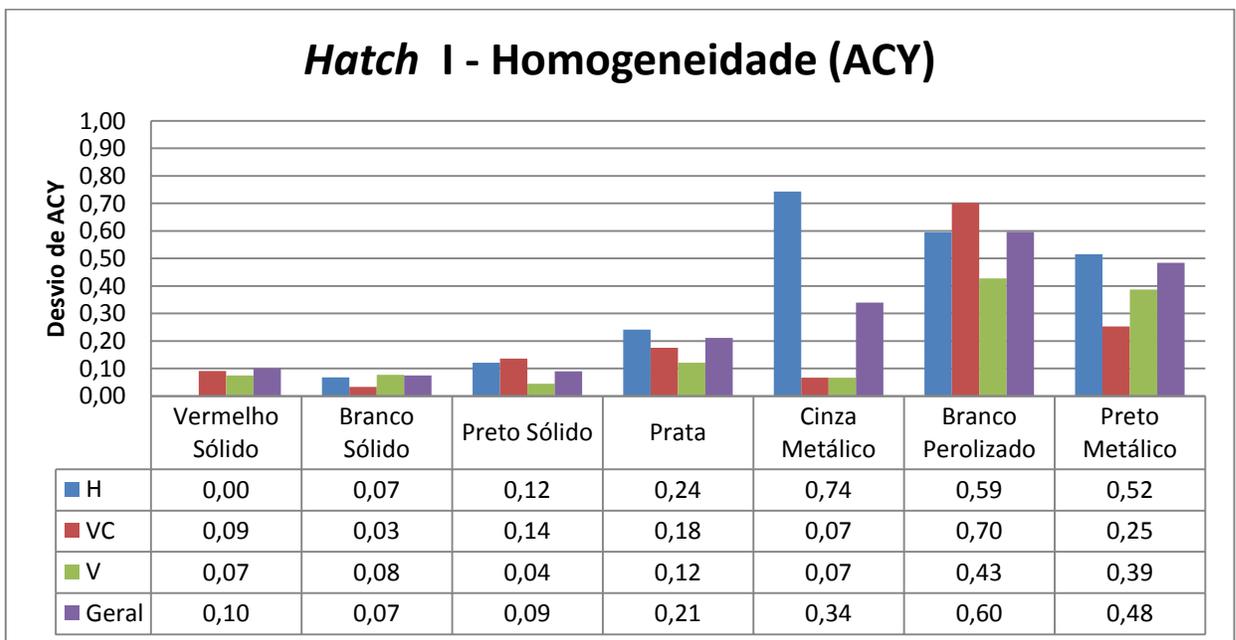
FONTE: Próprio autor.

Figura 50 - Pick Up Média de ACY



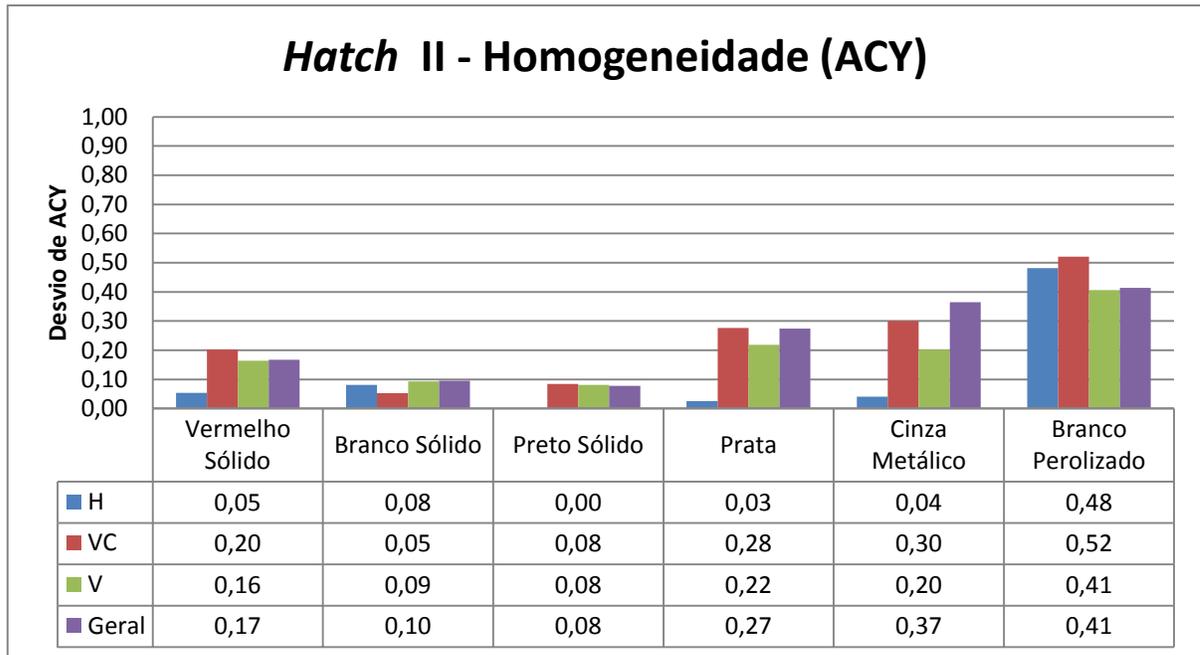
FONTE: Próprio autor.

Figura 51 - Hatch I Desvio de ACY



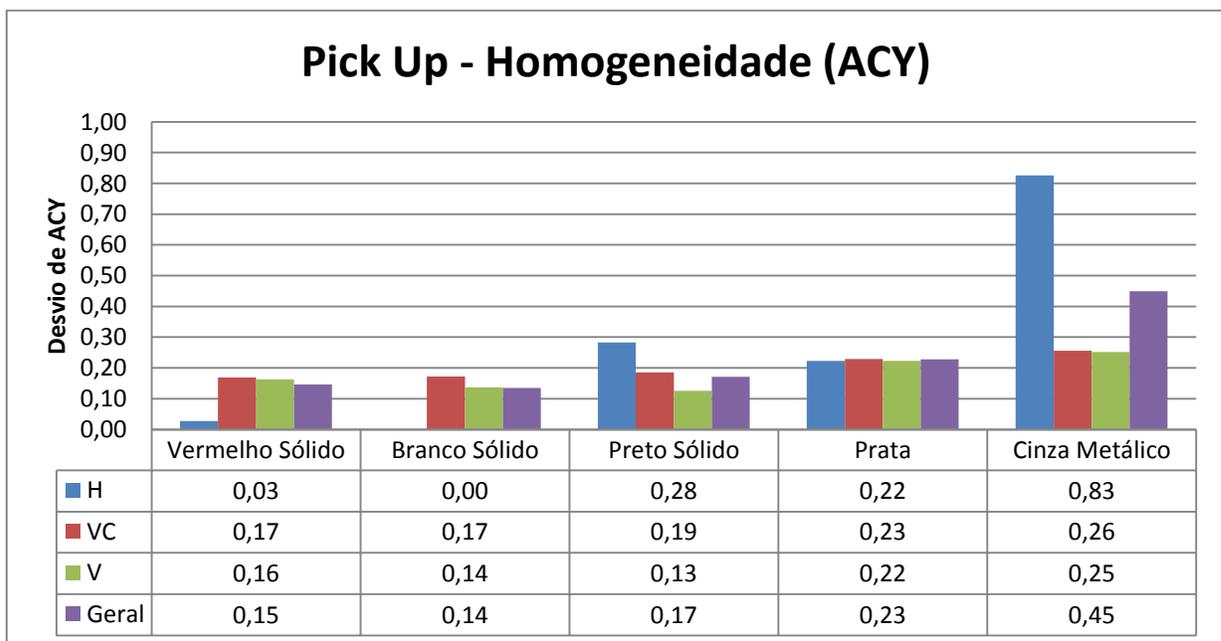
FONTE: Próprio autor.

Figura 52 - Hatch II Desvio de ACY



FONTE: Próprio autor.

Figura 53 - Pick Up Desvio de ACY

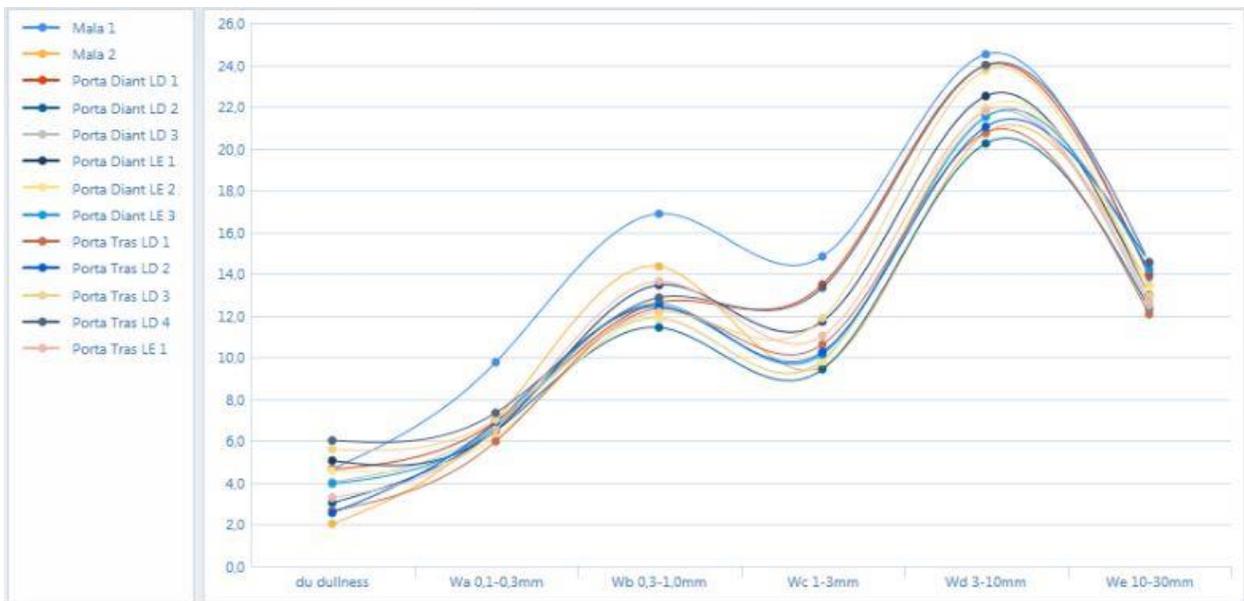


FONTE: Próprio autor.

Porém, comparando os espectros estruturais das cores com efeito e das cores sólidas, há uma notável diferença entre as formas das curvas. As Figuras 54 e 55 mostram as curvas médias das medições das cores Vermelho Sólido e Cinza Metálico para a região de portas do veículo Hatch I, geradas pelo *Smart Chart*.

Basicamente, na cor Vermelho Sólido as LW são maiores que as SW, com a curva se aproximando do formato “costas de camelo” invertido, enquanto que para o Cinza Metálico ocorre o contrário. Entretanto, no caso da cor metálica, os valores de Wc e Wd encontram-se na mesma faixa, indicando que o *Wet Look* ou aspecto molhado seja prejudicado. Para a cor vermelho sólido, a razão Wd/Wc é maior, proporcionando o aspecto molhado, mesmo com LW maior que SW, o que gera um aspecto mais encascado.

Figura 54 - Espectro Estrutural Hatch I Vermelho Sólido – Portas

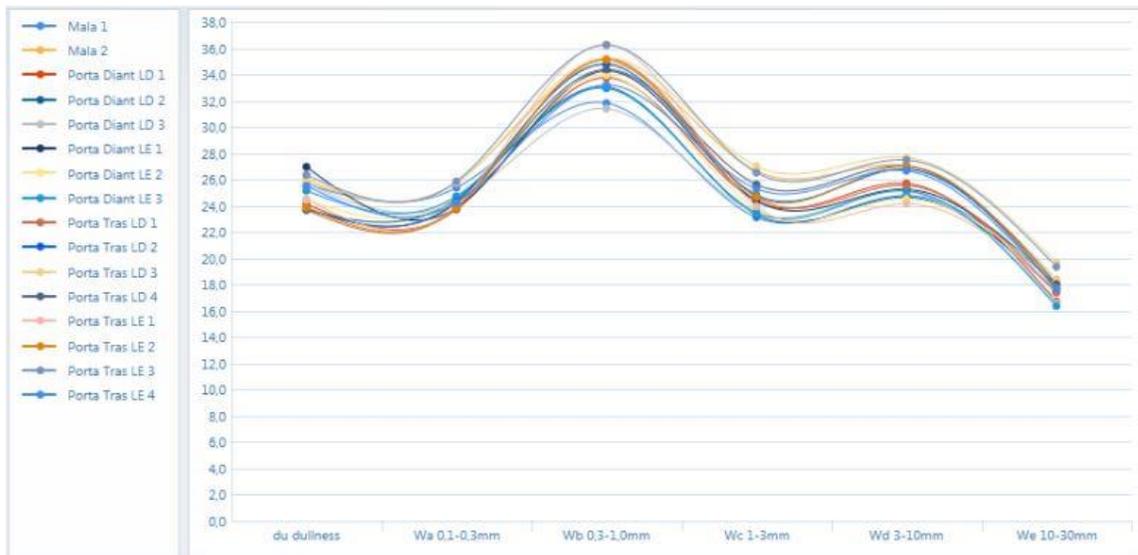


FONTE: Próprio autor.

As Figuras 56 e 57 mostram fotografias da região central da porta traseira de dois Hatch Is, um na cor Vermelho Sólido e outro Cinza Metálico. A cor cinza apresenta um aspecto mais seco e rechupado, o que é evidenciado pela imagem mais embaçada, enquanto que o vermelho tem um aspecto encascado porém molhado, percebido pelos contornos mais distorcidos das imagens e conforme é previsto pelos espectros estruturais. Essa diferença de aspecto de cores com efeito para cores sólidas foi observada para todas as cores avaliadas, em todos os modelos.

Na Tabela 2 estão dispostas as médias dos parâmetros de aplicação de *Base Coat* controlados no processo de pintura da planta Betim, para as cores Vermelho Sólido e Cinza Metálico. Considerando que a aplicação do verniz é a mesma para as duas cores no veículo Hatch I, a maior razão Wd/Wb para a cor Vermelho Sólido pode ser explicada por maiores valores de vazão e menores de rotação, o que é explicado no modelo das equações 4 e 5.

Figura 55 - Espectro Estrutural Hatch I Cinza Metálico – Portas



FONTE: Próprio autor.

Tabela 1 - Média dos parâmetros de aplicação de *Base Coat* das cores Vermelho Sólido e Cinza Metálico no veículo Hatch I

Cor (Hatch I)	Vazão (ml/min)	Ar guia (NL)	Rotação (RPM)	Tensão (kV)
Vermelho Sólido	650	250	35000	70
Cinza Metálico	580	300	40000	65

FONTE: Próprio autor.

Figura 56 - Fotografia Hatch I Vermelho Sólido – Portas



FONTE: Próprio autor.

Figura 57 - Fotografia Hatch I Cinza Metálico – Portas



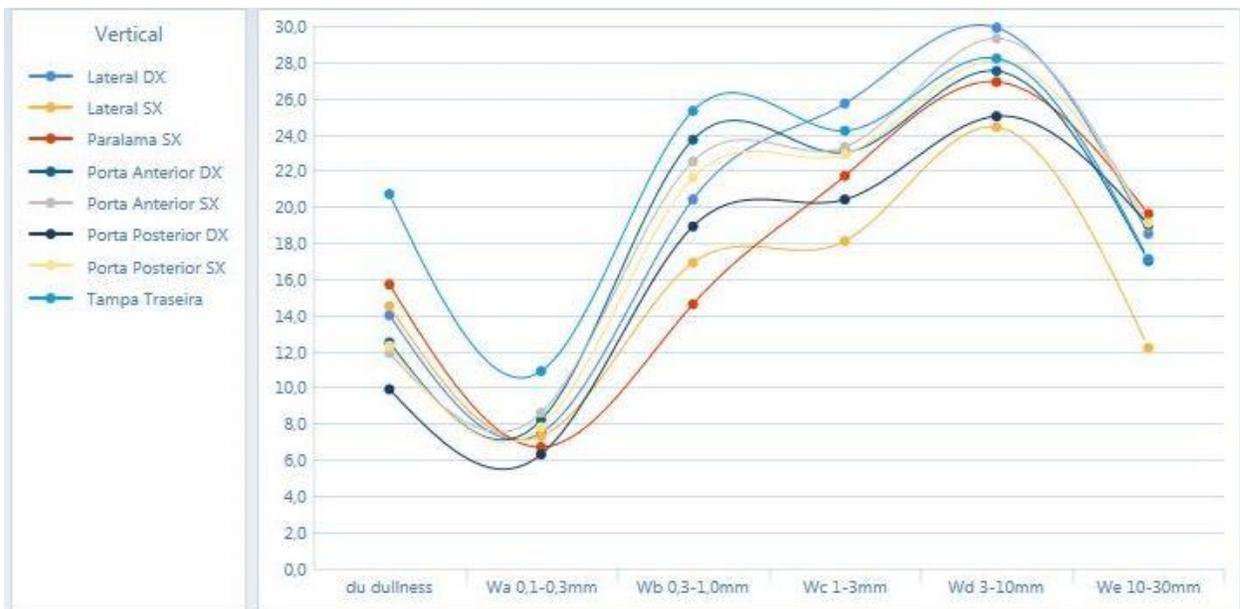
FONTE: Próprio autor.

Considerando que as duas cores foram aplicadas no mesmo modelo e que as medições foram feitas em diferentes dias e horários, as únicas influências possíveis na diferença de aspecto entre as cores são a aplicação do *Base Coat* e sua composição. Conforme descrito por Ellwood et al. (2013) e Seeler et al. (2017), os parâmetros de aplicação são os principais mediadores da aparência de revestimentos.

Na análise de concorrência e de carros de outras plantas, as cores sólidas apresentaram o mesmo aspecto de pintura, ou seja, a mesma forma de curva de espectro estrutural que as das cores analisadas da planta de Betim. As Figuras 58 e 59 comprovam isso mostrando as curvas gerais das regiões verticais de um SUV (montadora americana) branco sólido e um SUV (montadora coreana) preto sólido, respectivamente.

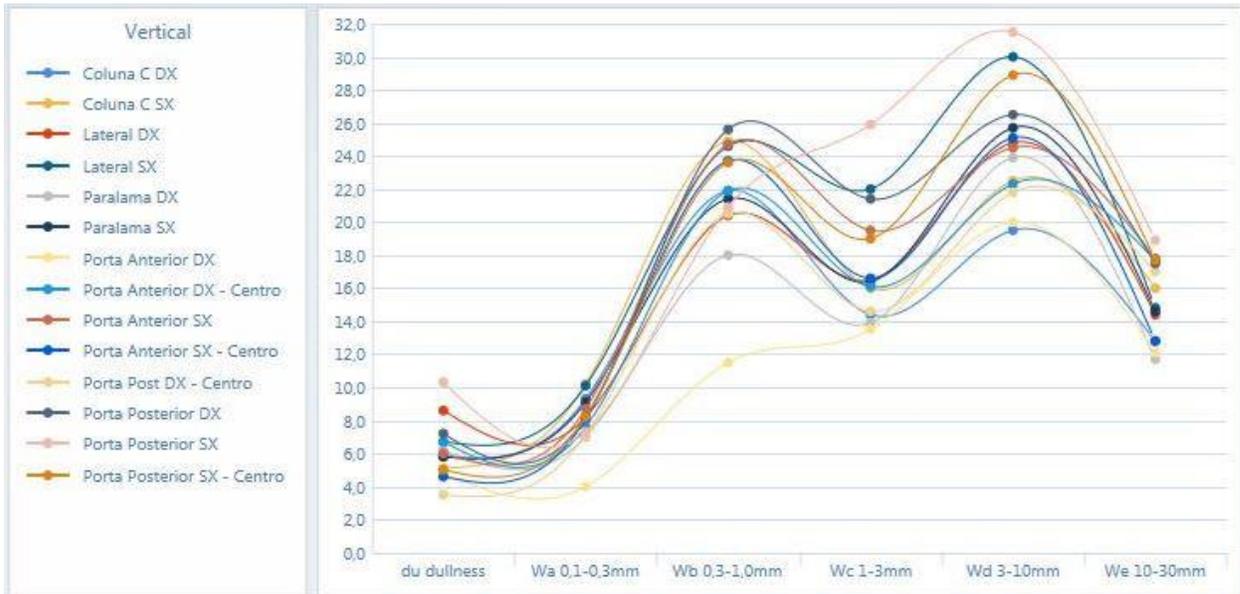
A exceção está nos carros pintados na planta de Pernambuco. Todos os 4 carros analisados apresentaram a curva com formato “pão de açúcar” convencional, com valores de W_d menores que W_b . As Figuras 60 e 61 mostram as curvas das regiões verticais de um SUV preto sólido e de uma Pick Up branco sólido, respectivamente.

Figura 58 - Espectro estrutural verticais – SUV Branco Sólido (montadora americana)



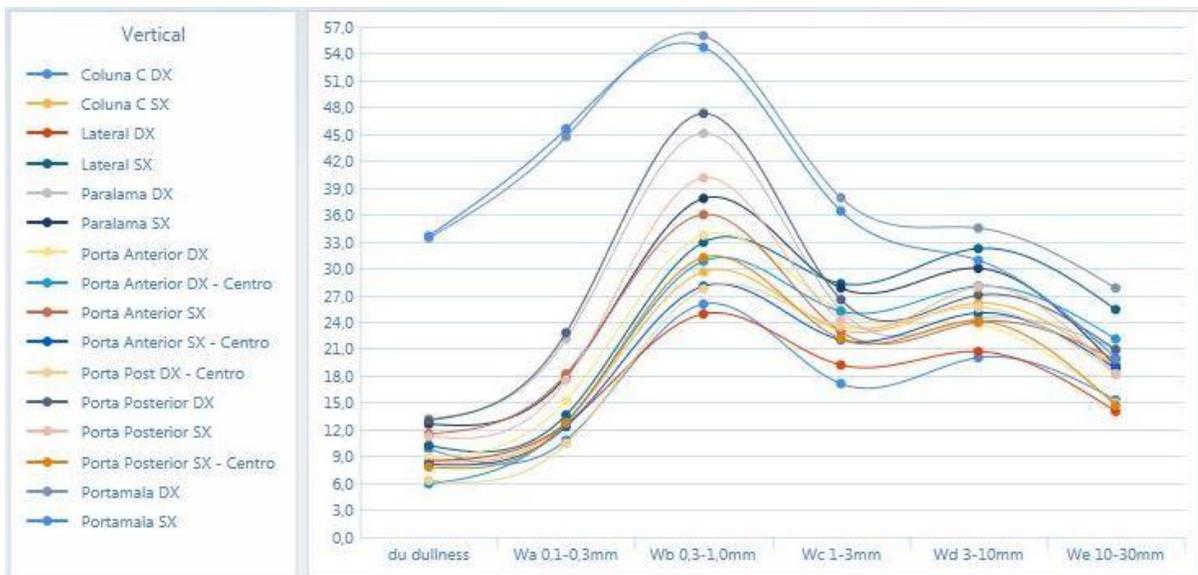
FONTE: Próprio autor.

Figura 59 - Espectro estrutural verticais – SUV Preto Sólido (montadora coreana)



FONTE: Próprio autor.

Figura 60 - Espectro estrutural verticais – SUV Preto Sólido (Pernambuco)

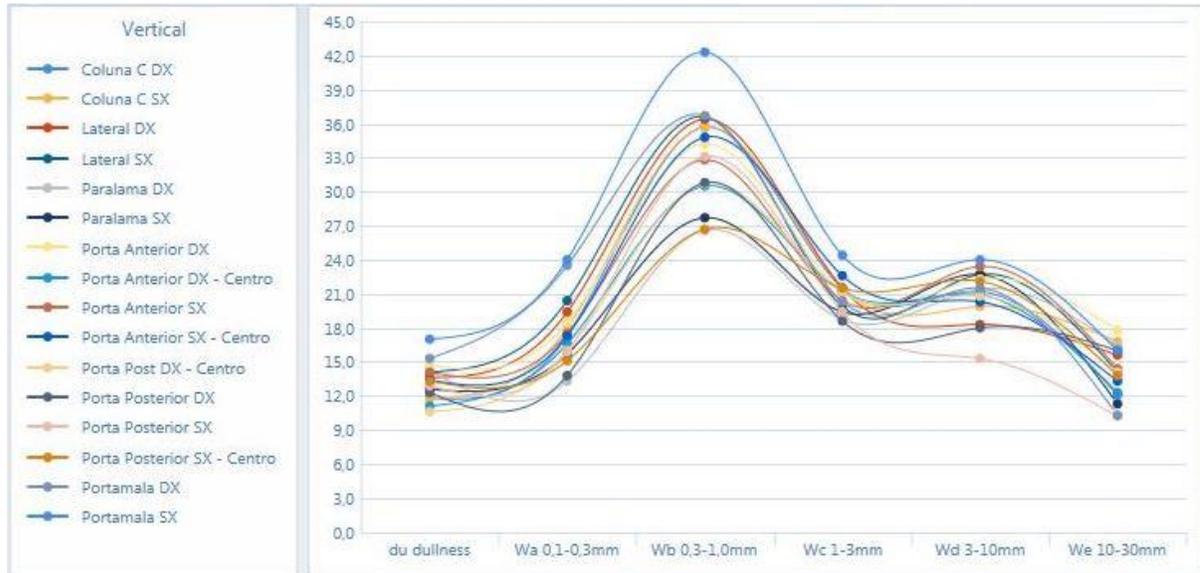


FONTE: Próprio autor.

Para as cores com efeito, o aspecto característico de curva de pão-de-açúcar “convencional”, com valores de W_b maiores que W_d , foi observado em 11 dos 14 carros analisados. Todos os da planta de Pernambuco apresentaram esse aspecto, enquanto que um dos que não se enquadraram nele trata-se de um sedan vermelho metálico produzido na planta da

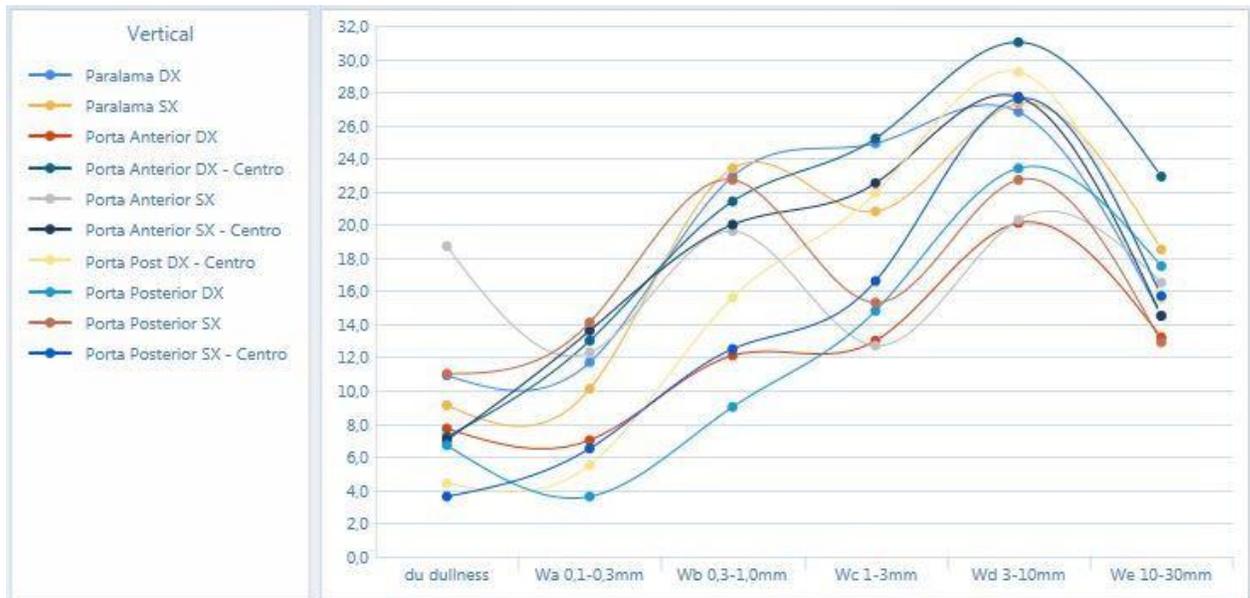
Argentina. A Figura 62 e 63 mostram as curvas do espectro estrutural desse sedan e de um SUV Prata de Pernambuco.

Figura 61 - Espectro estrutural verticais – Pick Up Branco Sólido (Pernambuco)



FONTE: Próprio autor.

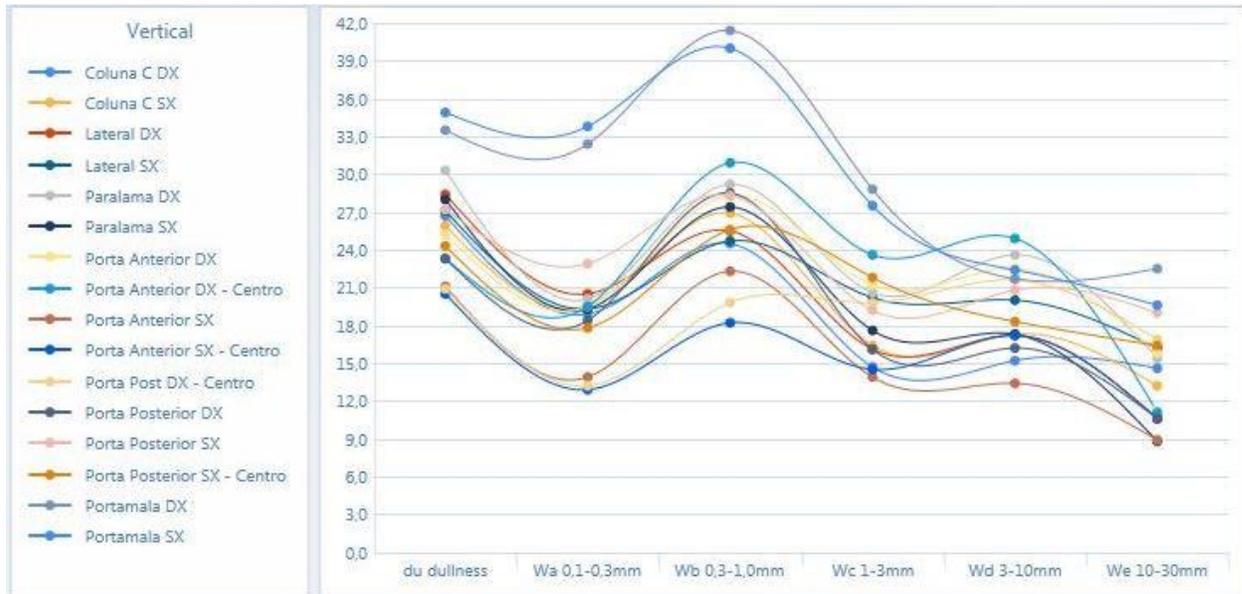
Figura 62 - Espectro estrutural verticais – Sedan Vermelho Metálico (Argentina)



FONTE: Próprio autor.

Várias referências, como Goldschmidt e Streitberger (2007), Ellwood et al. (2013) e Seeler et al. (2017), já demonstraram que são vários os fatores que influenciam na aparência final de um revestimento e que, dentre eles, os parâmetros de aplicação e outros relativos ao processo em si são os mais importantes. Portanto, em relação à diferença de aparência entre as cores sólidas e com efeito, pode-se dizer que ela ocorre devido à diferenças na aplicação da tinta devido a limitações da matéria-prima e não que seja devido sua composição. No caso de as cores pintadas na planta de Pernambuco terem o mesmo formato da curva de espectro estrutural para as sólidas e com efeito, devem ser feitas algumas considerações. Naquele processo, além dos *Base Coats* e *Clear Coats* serem à base de água, não há a utilização de *Primer*. Além disso, trata-se de uma das plantas mais novas e mais modernas da indústria automobilística no Brasil, com elevado grau de automatização. Todos esses fatores contribuem para que o processo tenha uma aplicação mais uniforme para todas as cores.

Figura 63 - Espectro estrutural verticais – SUV Prata (Pernambuco)



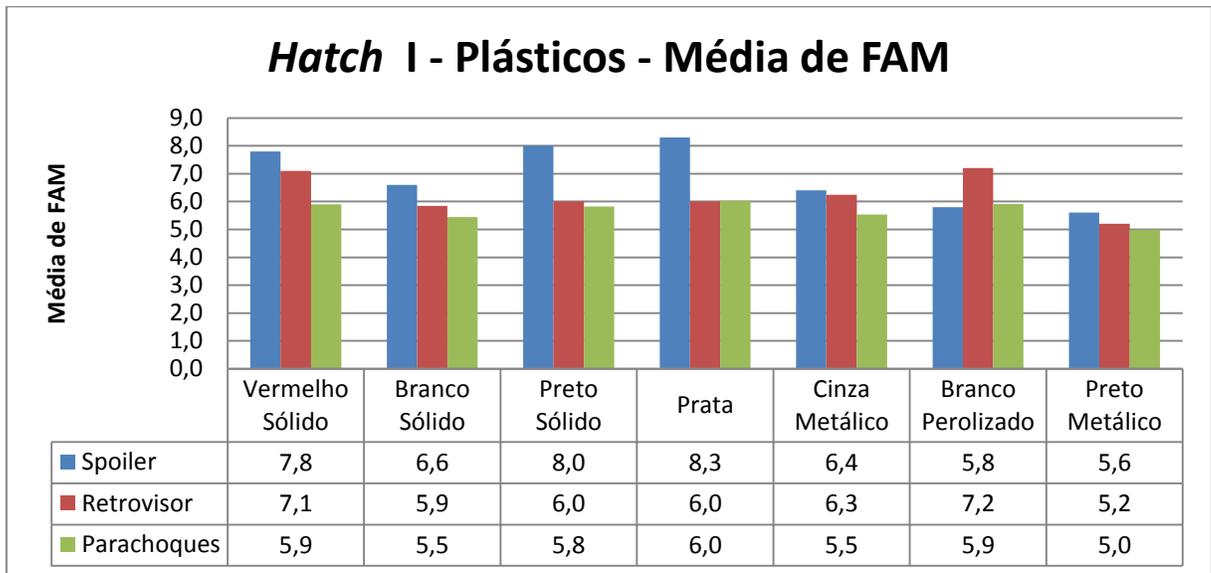
FONTE: Próprio autor.

4.1.2 Análise de Componentes Plásticos

As Figuras 64 e 65 mostram as médias de FAM e ACY para os componentes plásticos dos veículos Hatch I e Hatch II, sendo que este não possui Spoiler e a grande maioria de seus modelos não tem retrovisores pintados.

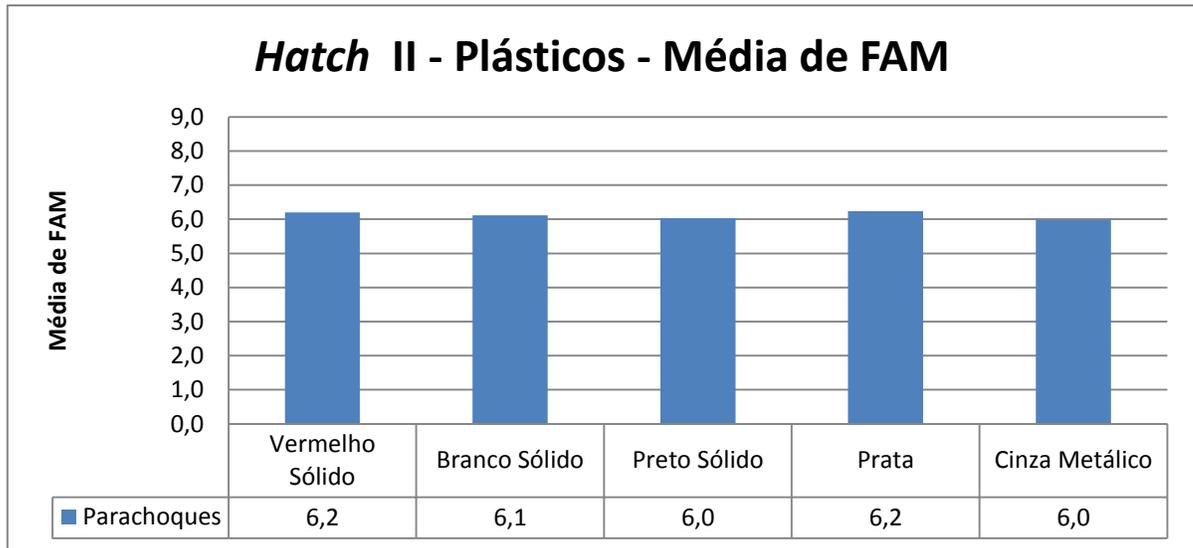
No modelo Hatch I, as cores com melhor desempenho para os três componentes foram Vermelho Sólido, Preto Sólido e Prata e o componente com melhor aparência foi o Spoiler. A cor Branco Perolizado obteve bom desempenho em relação aos demais para retrovisores e para-choques, entretanto seu spoiler obteve a segunda pior aparência. Assim como na análise de carroceria, a cor Preto Metálico obteve o pior desempenho. No modelo Hatch II, todas as cores analisadas tiveram valores médios de FAM próximos. Além disso, no geral a aparência foi melhor em relação ao veículo Hatch I, o que também ocorreu para a análise de carroceria.

Figura 64 - Média de FAM – Hatch I - Plásticos



FONTE: Próprio autor.

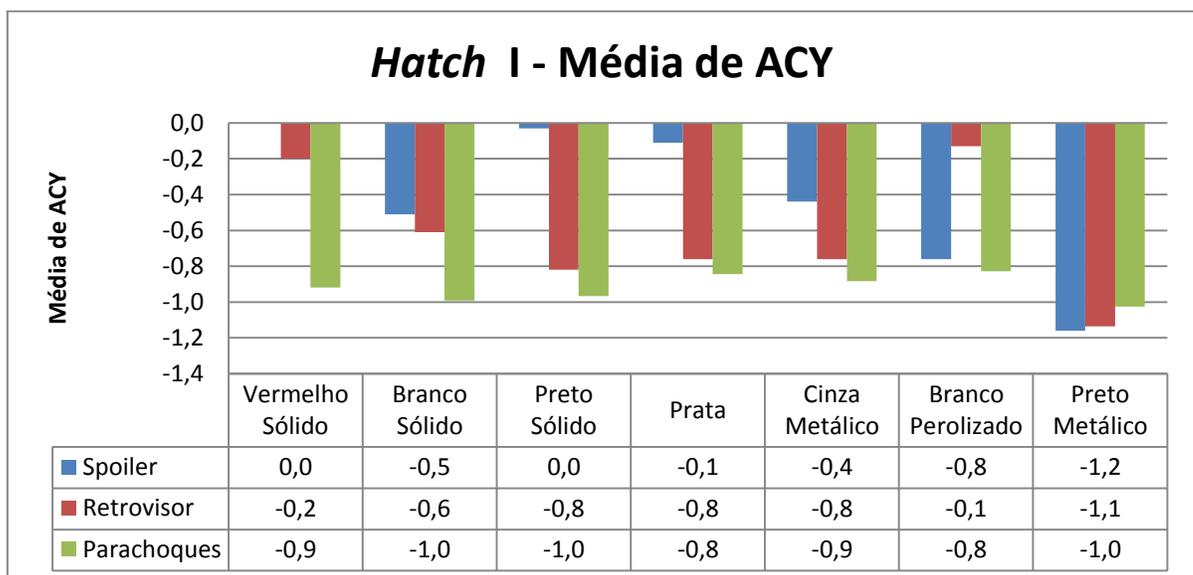
Figura 65 - Média de FAM – Hatch II - Plásticos



FONTE: Próprio autor.

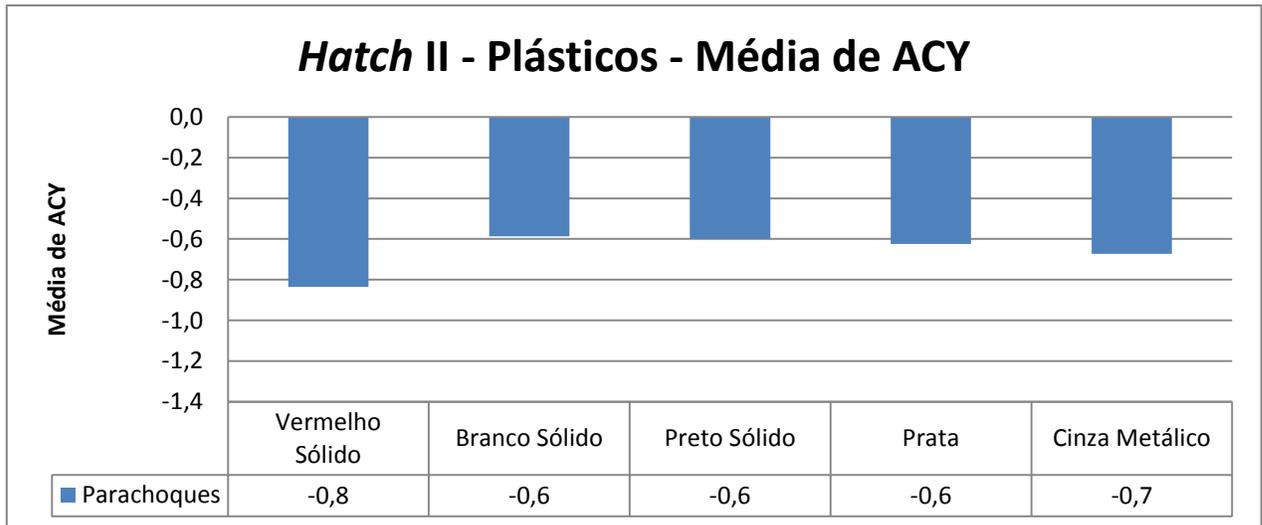
Em relação às médias de ACY, foi obtido o mesmo comportamento de aparência das cores de dos modelos, com Vermelho Sólido, Bari e Cinza Metálico com médias de ACY mais próximas de zero e com os spoilers com melhor resultado. Assim como para o FAM, o modelo Hatch II apresentou melhor aparência comparando-o com o Hatch I. A cor Preto Metálico também obteve o pior desempenho em relação a esse parâmetro.

Figura 66 - Média de ACY – Hatch I - Plásticos



FONTE: Próprio autor.

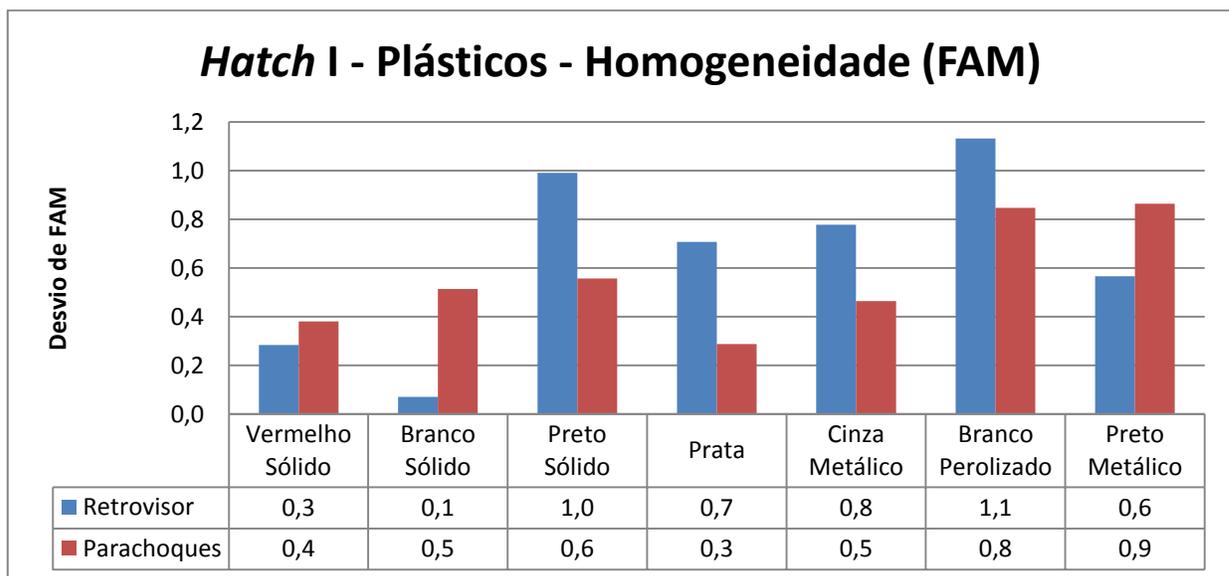
Figura 67 - Média de ACY – Hatch II - Plásticos



FONTE: Próprio autor.

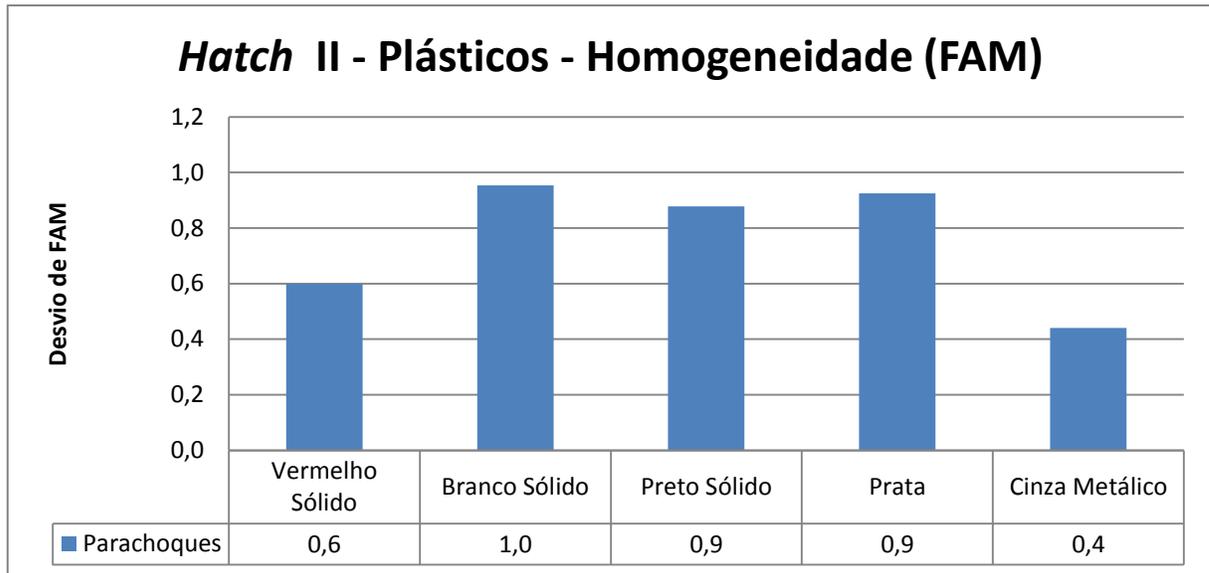
As Figuras de 68 à 71 mostram os resultados de homogeneidade de aparência dos componentes plásticos avaliados. No modelo Hatch I, os para-choques tiveram aparência mais homogênea em relação aos retrovisores. Nos dois veículos, a homogeneidade não seguiu a mesma lógica da média de aparência, tanto em relação ao veículo quanto em relação às cores. Apenas para o parâmetro ACY o veículo Hatch II obteve melhor desempenho.

Figura 68 - Desvio de FAM – Hatch I - Plásticos



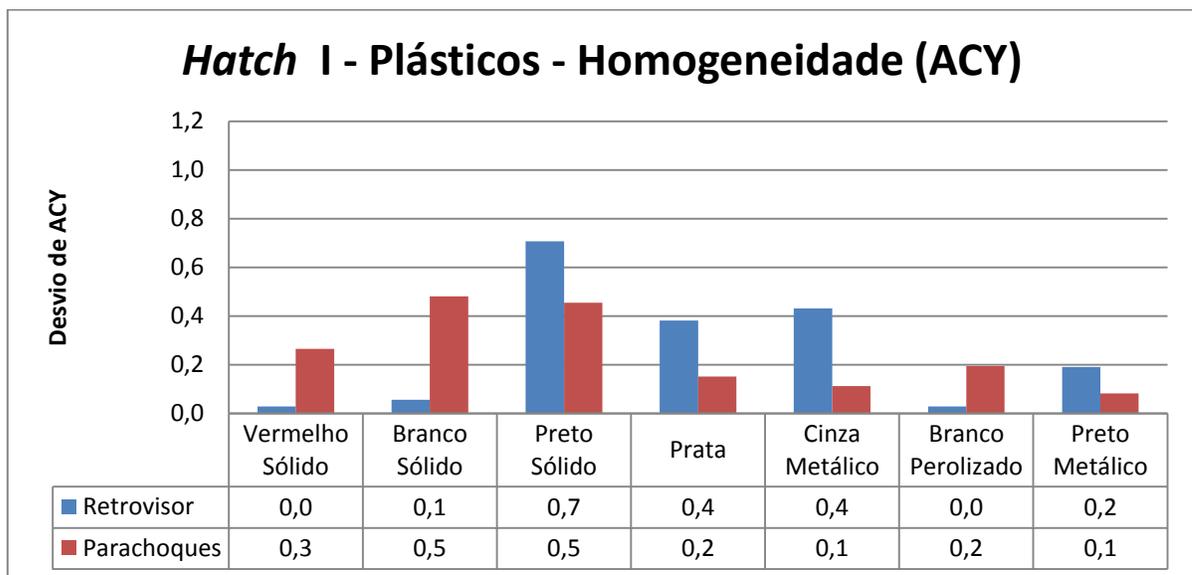
FONTE: Próprio autor.

Figura 69 - Desvio de FAM – Hatch II - Plásticos



FONTE: Próprio autor.

Figura 70 - Desvio de ACY – Hatch I - Plásticos

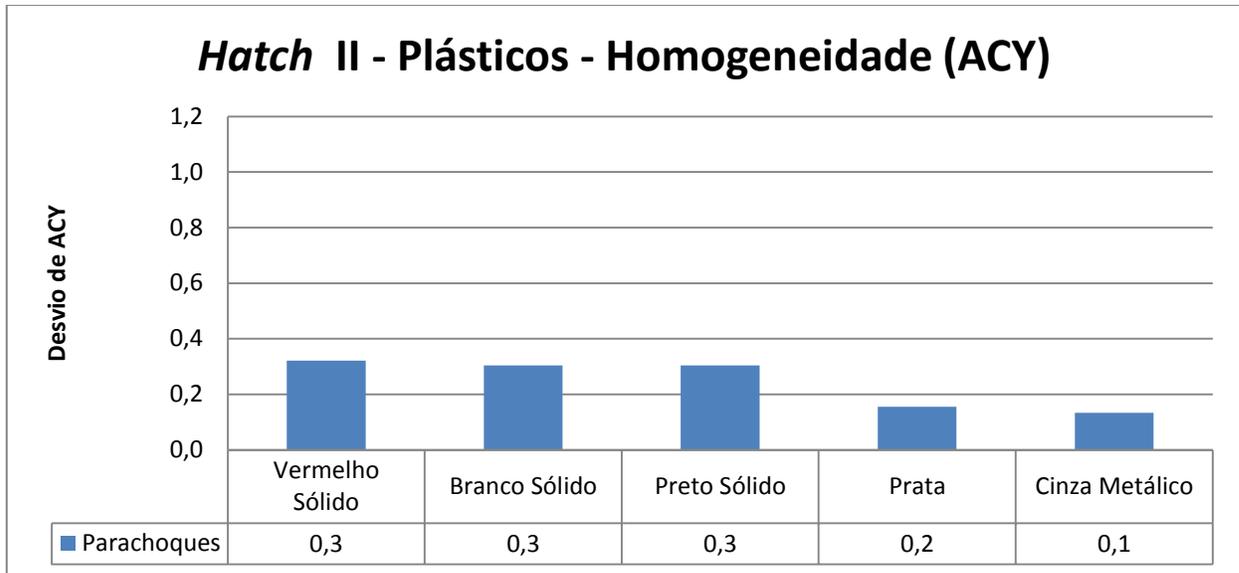


FONTE: Próprio autor.

As Figuras de 72 à 75 mostram o *matching* de aparência entre partes plásticas de veículos Hatch I e Hatch II nas cores Prata, Branco Sólido e Preto Sólido. Nas cores sólidas (Branco Sólido e Preto Sólido), a diferença de aparência é evidente, onde os para-choques possuem um aspecto rechupado e a carroceria um aspecto encascado. Na Figura 98 essa diferença é mais

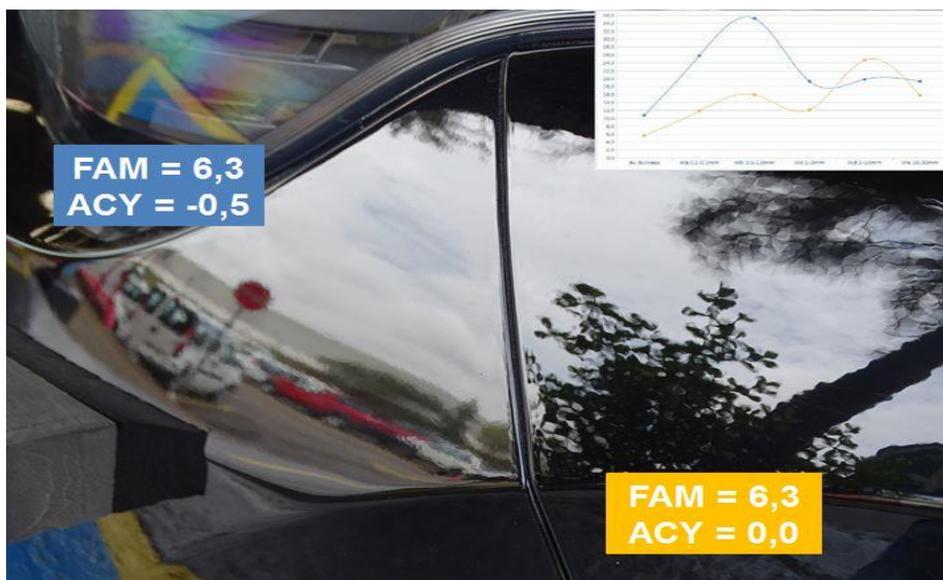
perceptível. As duas regiões possuem o mesmo valor de FAM, porém valores diferentes de ACY, com o para-choque com -0,5. Analisando a imagem formada no para-choque, ela se apresenta mais embaçada, enquanto que na carroceria ela é mais nítida, embora tenha seus contornos mais distorcidos pela casca de laranja. O formato das curvas justifica todas essas diferenças.

Figura 71 - Desvio de ACY – Hatch II - Plásticos



FONTE: Próprio autor.

Figura 72 - Matching Para-lamas / Para-choque Anterior – Preto Sólido



FONTE: Próprio autor.

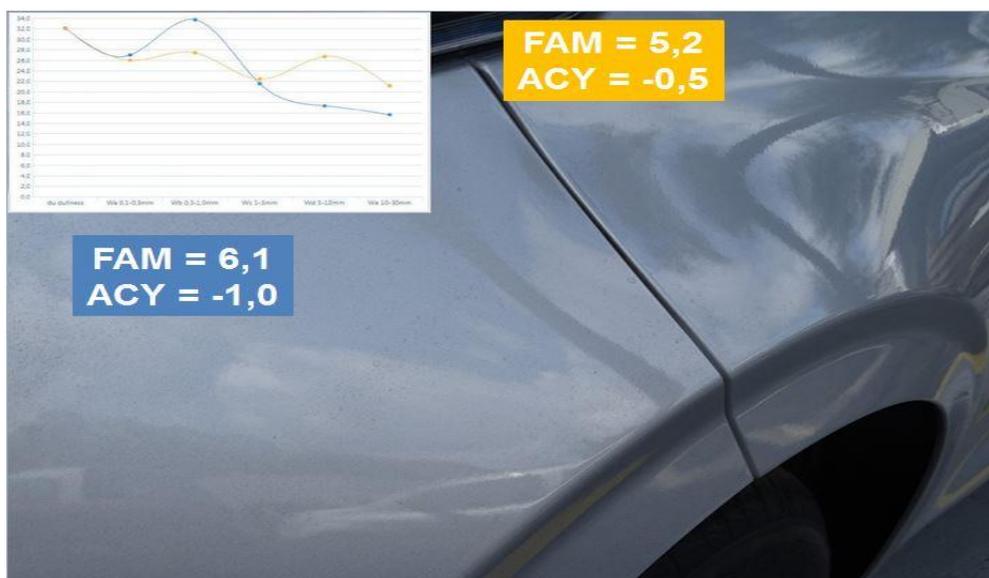
Figura 73 - Matching Lateral / Para-choque Posterior – Branco Sólido



FONTE: Próprio autor.

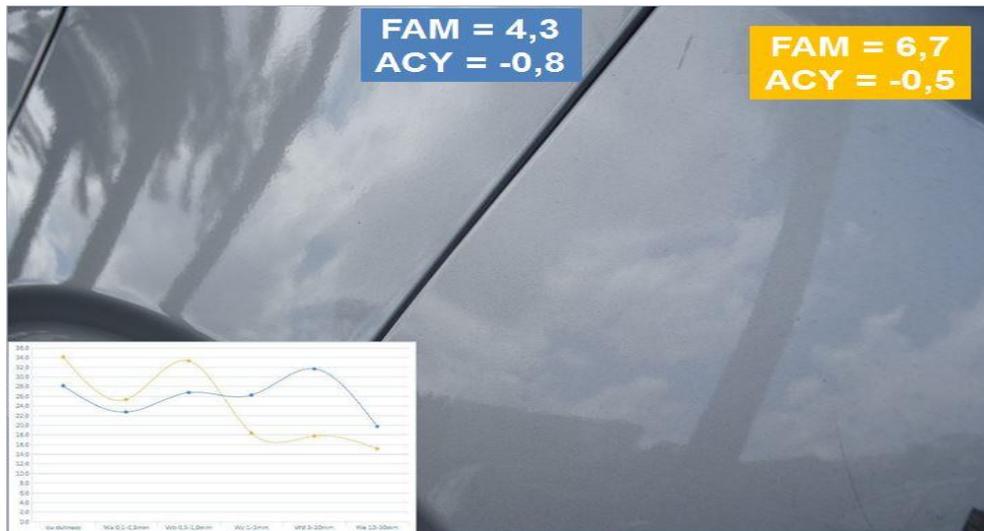
Para a cor metálica Prata (Figuras 100 e 101) a diferença de aparência é menos perceptível, principalmente para a região dianteira, pois a casca de laranja é menos pronunciada nas carrocerias pelo fato de as SW serem maiores que as LW e as curvas terem formato parecido. Na região traseira, a lateral encontra-se com LW maior que SW, o que diminui o valor de FAM e torna a casca de laranja mais pronunciada.

Figura 74 - Matching Para-lamas / Para-choque Anterior – Prata



FONTE: Próprio autor.

Figura 75 - Matching Lateral / Para-choque Posterior – Prata



FONTE: Próprio autor.

4.1.3 Análise de Geometria – Design of Experiments

As Tabelas 3 e 4 mostram os parâmetros de aplicação de verniz nas regiões avaliadas dos veículos Hatch I e Hatch II. Além disso, também mostram a estimativa dos valores dos parâmetros W_c e W_d , pra cada região de acordo com os valores de vazão e rotação, segundo o modelo da Equação 5.

O valor de W_d , por ser o principal parâmetro que define o valor de FAM, e a razão W_d/W_c , que é mandatório para o valor de ACY, serão utilizados para a interpretação dos resultados obtidos nessa análise. Quando essas estimativas se encontrarem em valores próximos entre regiões do mesmo ou de veículos diferentes, todas as diferenças referentes à aparência poderão ser correlacionadas com a geometria do veículo ou com o mau alastramento de camadas inferiores, visto que todas as variáveis até então foram fixadas. Para comparação entre a estimativa entre Hatch I e Hatch II, a Tabela 5 mostra a razão dos valores de W_d para os dois veículos.

Para interpretação dos resultados, foram avaliados apenas aqueles fatores que apresentavam valor de $p < 0,5$, ou seja, que sua influência nas variáveis resposta FAM e ACY traria um nível de confiança de 95%. Para avaliar qual parâmetro teve maior peso, o parâmetro avaliado o adjSS, que mostra quão impactante é a variação do fator controle na variável resposta.

Tabela 2 - Parâmetros de aplicação *Clear Coat Hatch I*

Região	Vazão	Ar Guia	Rotação	Tensão	Wd
Capô Lateral, Para-lamas Inferior e Superior	680	280	40000	70	0,0641
Porta Dianteira 1 e 2	570	280	35000	70	0,0645
Porta Dianteira 3	530	250	35000	70	0,0631
Porta Traseira (1 à 4)	500	280	35000	70	0,0619
Coluna C	500	280	35000	70	0,0619
Lateral	570	230	40000	70	0,0607
Capô	500	250	40000	70	0,0583
Teto	560	270	40000	70	0,0583
Teto Final	350	250	35000	70	0,0554

FONTE: Próprio autor.

Tabela 3 - Parâmetros de aplicação *Clear Coat Hatch II*

Região	Vazão	Ar Guia	Rotação	Tensão	Wd
Capô Lateral,	530	250	35000	70	0,0631
Para-lamas Inferior e Superior	550	250	35000	70	0,0638
Porta Dianteira 1 e 2	480	250	35000	70	0,0611
Porta Dianteira 3	450	250	35000	70	0,0599
Portas Traseiras 1 e 2	480	250	35000	70	0,0611
Portas Traseiras 3 e 4	500	250	35000	70	0,0619
Coluna C	480	250	35000	70	0,0611
Lateral	250	250	35000	70	0,0500
Capô	470	250	40000	70	0,0572
Teto	430	250	35000	70	0,0591
Teto Final	360	250	35000	70	0,0559
Spoiler	100	250	35000	70	0,0376

FONTE: Próprio autor.

Tabela 4 - Razão de estimativa Wd Hatch I e Hatch II

Região	Wd(Hatch I)/Wd(Hatch II)
Capô Lateral	1,017
Para-lamas Inferior e Superior	1,006
Portas Dianteiras 1 e 2	1,055
Porta Dianteira 3	1,052
Portas Traseiras 1 e 2	1,013
Portas Traseiras 3 e 4	1,000
Coluna C	1,013
Lateral	1,216
Capô	1,019
Teto	1,022
Teto Final	0,991

FONTE: Próprio autor.

Na análise da Zona 1, na região do para-lamas, apenas as variáveis Carro e Região apresentaram influência significativa no FAM, com maior representatividade da segunda e sem ocorrência de interação entre elas, e para o ACY apenas a variável Carro, conforme mostram as Figura 76 e 77.

Figura 76 - Análise de variância Zona 1 – Para-lamas - FAM

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
Model	11	9,9123	0,90112	2,70	0,012
Linear	4	8,3808	2,09521	6,28	0,001
Carro	1	2,3852	2,38521	7,15	0,011
Região	2	5,7954	2,89771	8,68	0,001
Turno	1	0,2002	0,20021	0,60	0,444
2-way Interactions	5	1,1677	0,23354	0,70	0,627
Carro*Região	2	0,1029	0,05146	0,15	0,858
Carro*Turno	1	0,1519	0,15188	0,45	0,504
Região*Turno	2	0,9129	0,45646	1,37	0,268
3-way Interactions	2	0,3638	0,18188	0,54	0,585
Carro*Região*Turno	2	0,3638	0,18188	0,54	0,585
Error	36	12,0175	0,33382		
Total	47	21,9298			

FONTE: Próprio autor.

Figura 77 - Análise de variância paralamas - ACY

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
Model	11	0,97229	0,088390	1,56	0,154
Linear	4	0,68250	0,170625	3,01	0,031
Carro	1	0,31687	0,316875	5,59	0,024
Região	2	0,33042	0,165208	2,91	0,067
Turno	1	0,03521	0,035208	0,62	0,436
2-way Interactions	5	0,14688	0,029375	0,52	0,761
Carro*Região	2	0,02375	0,011875	0,21	0,812
Carro*Turno	1	0,11021	0,110208	1,94	0,172
Região*Turno	2	0,01292	0,006458	0,11	0,893
3-way Interactions	2	0,14292	0,071458	1,26	0,296
Carro*Região*Turno	2	0,14292	0,071458	1,26	0,296
Error	36	2,04250	0,056736		
Total	47	3,01479			

FONTE: Próprio autor.

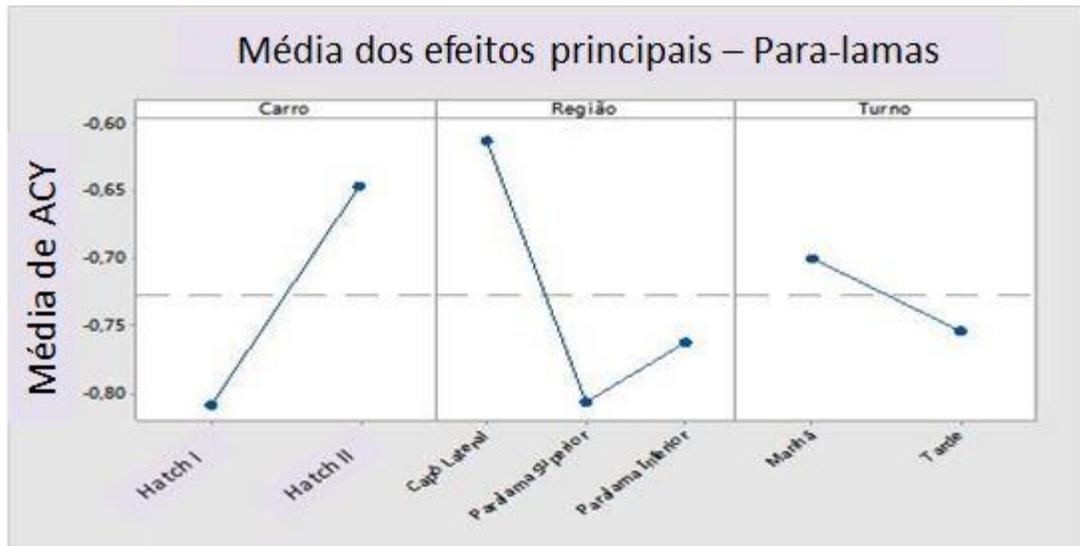
Os resultados das médias de FAM e ACY, presentes nas Figuras 78 e 79 mostram que o Hatch II possui melhor aparência em relação ao Hatch I na região. Além disso, o Para-lama Superior apresentou o pior nível de casca de laranja na região avaliada para os dois veículos, com a melhor sendo o Capô Lateral. Através das Tabelas 3, 4 e 5, percebe-se que a região possui aplicação de verniz uniforme para o Hatch I. No Hatch II, os parâmetros de aplicação geram uma estimativa de menor Wd para o Capô Lateral, o que foi observado. Portanto, a variação da aparência na região pode ter relação com a diferença de geometria entre as regiões e os modelos.

Figura 78 - Média dos efeitos principais Zona 1 – para-lamas - FAM



FONTE: Próprio autor.

Figura 79 - Média dos efeitos principais para-lamas - ACY



FONTE: Próprio autor.

Na Zona 2, que engloba a Coluna C, a Lateral e a Porta Traseira 4, para o parâmetro FAM houve influência relevante do tipo de carro, da região e das interações de carro e região e carro e turno. Para o ACY, apenas o fator carro e sua interação com o fator região foi relevante. Os resultados da análise de variância estão presentes nas Figuras 80 e 81.

A Figura 82 mostra que o Hatch II apresentou melhor nível de casca de laranja que o Hatch I e que a Porta Traseira 4 apresentou valor consideravelmente maior que os demais, que possuem valores abaixo do permitido pela norma interna, mostrando que há uma grande diferença de aparência nesta região de *matching*.

Figura 80 - Análise de variância Zona 2 – Coluna C – FAM

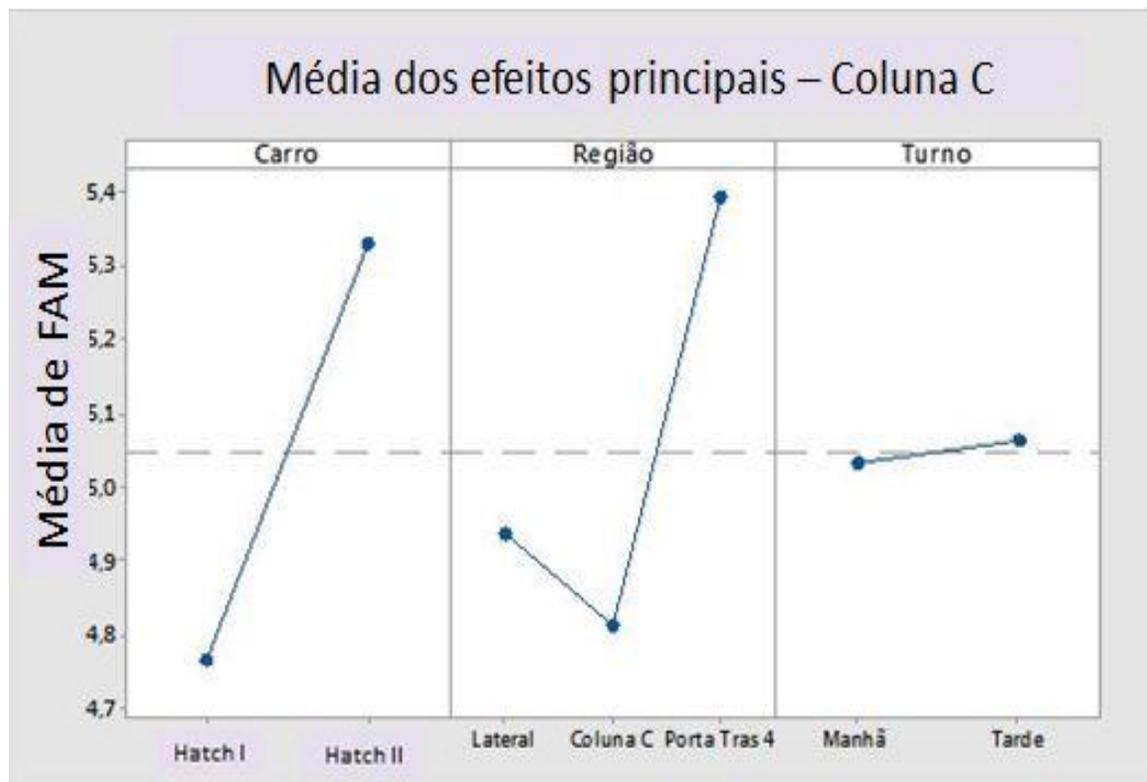
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
Model	11	12,9773	1,17975	4,04	0,001
Linear	4	6,8025	1,70062	5,83	0,001
Carro	1	3,7969	3,79687	13,01	0,001
Região	2	2,9954	1,49771	5,13	0,011
Turno	1	0,0102	0,01021	0,03	0,853
2-way Interactions	5	6,1194	1,22387	4,20	0,004
Carro*Região	2	4,5912	2,29562	7,87	0,001
Carro*Turno	1	1,4352	1,43521	4,92	0,033
Região*Turno	2	0,0929	0,04646	0,16	0,853
3-way Interactions	2	0,0554	0,02771	0,09	0,910
Carro*Região*Turno	2	0,0554	0,02771	0,09	0,910
Error	36	10,5025	0,29174		
Total	47	23,4798			

FONTE: Próprio autor.

Figura 81 - Análise de variância Zona 2 – Coluna C - ACY

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Model	11	1,51417	0,137652	2,94	0,007
Linear	4	0,79083	0,197708	4,22	0,007
Carro	1	0,10083	0,100833	2,15	0,151
Região	2	0,60667	0,303333	6,48	0,004
Turno	1	0,08333	0,083333	1,78	0,190
2-way Interactions	5	0,71667	0,143333	3,06	0,021
Carro*Região	2	0,47167	0,235833	5,04	0,012
Carro*Turno	1	0,16333	0,163333	3,49	0,070
Região*Turno	2	0,08167	0,040833	0,87	0,427
3-way Interactions	2	0,00667	0,003333	0,07	0,931
Carro*Região*Turno	2	0,00667	0,003333	0,07	0,931
Error	36	1,68500	0,046806		
Total	47	3,19917			

FONTE: Próprio autor.

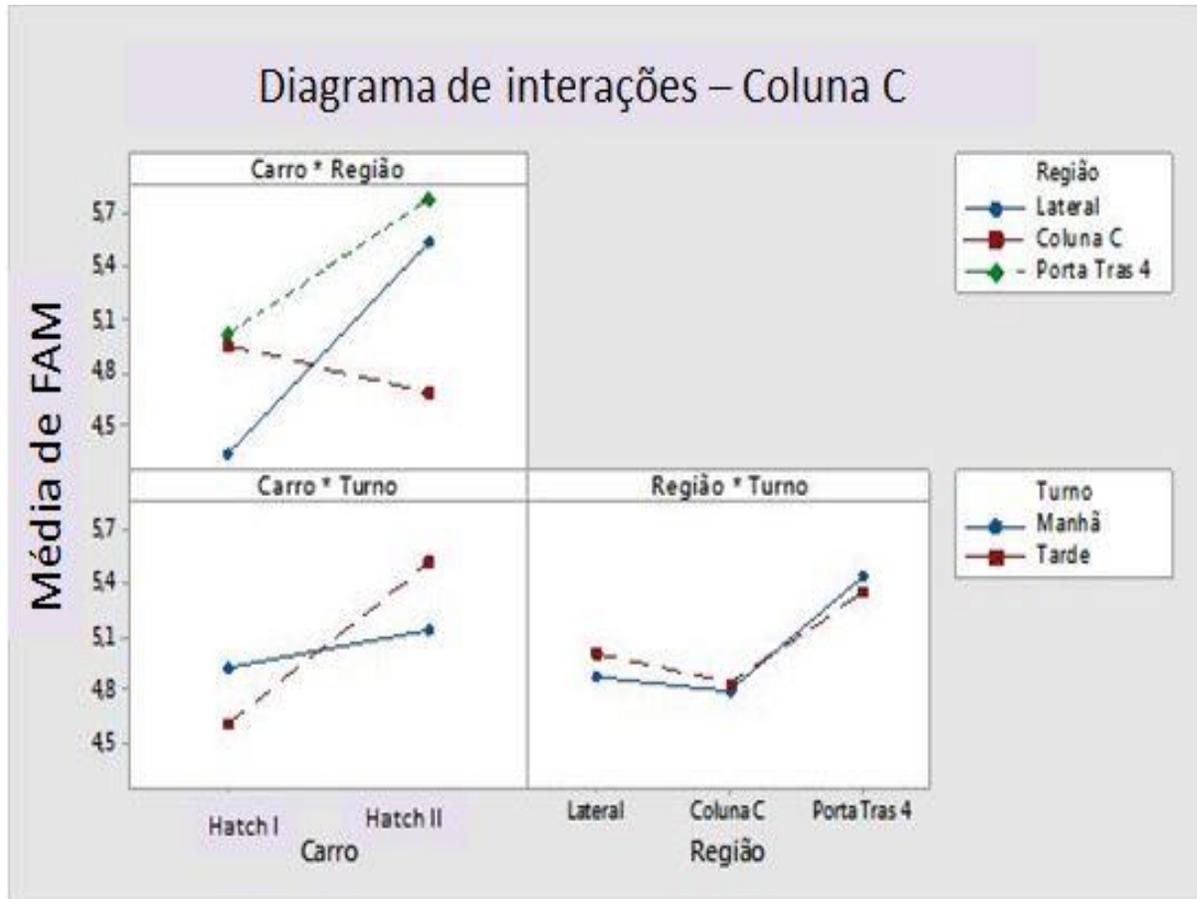
Figura 82 - Média dos efeitos principais - Zona 2 – Coluna C - FAM

FONTE: Próprio autor.

A interação Carro*Região, na Figura 83, mostra que a Lateral é a pior região para o Hatch I e a Coluna C para o Hatch II, em relação ao FAM. Isso pode ter ocorrido pelo fato de a Coluna C do Hatch II ser mais estreita, o que dificulta a medição com o *Wave-Scan*, que tem que ser feita na posição vertical. A interação Carro*Turno mostra que o Hatch I tem maior FAM no turno da manhã e o Hatch II no da tarde.

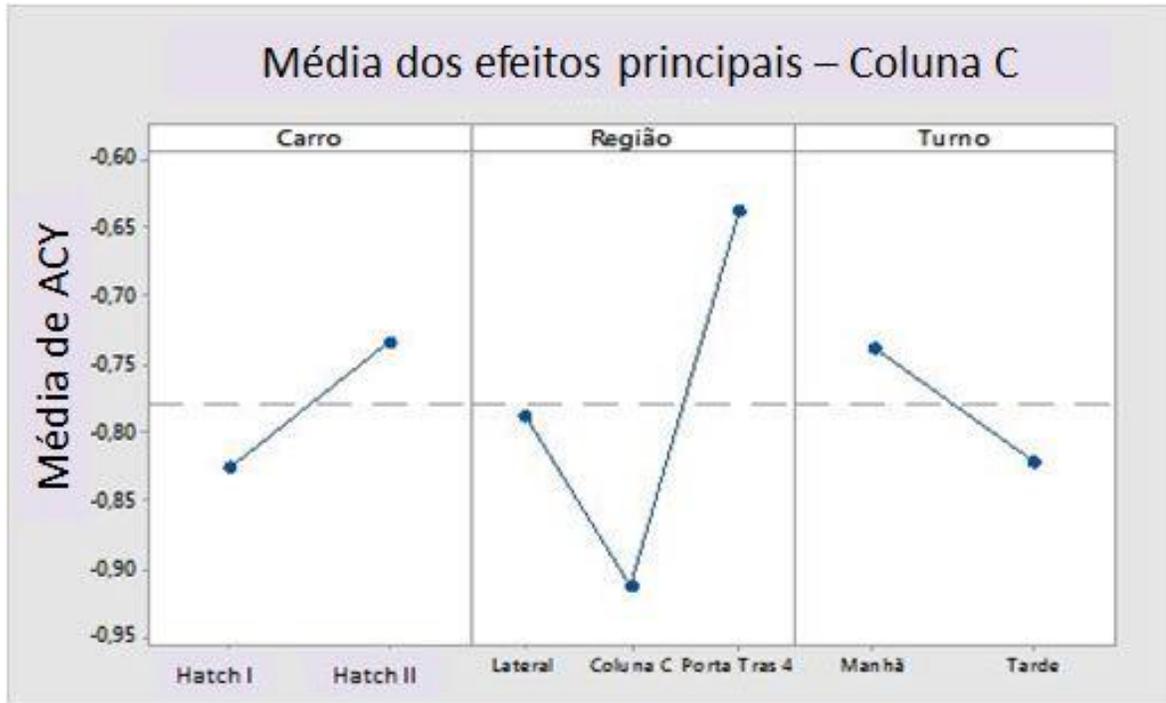
As Figuras 84 e 85 mostram que ocorre o mesmo comportamento observado no FAM para o ACY. Portanto, além de ter pior nível de casca de laranja, as regiões citadas terão pior aspecto. A estimativa de Wd para o Hatch I na Tabela 3 previa um nível de casca de laranja pior para a Coluna C, logo o comportamento contraria o previsto pelo modelo da Equação 5.

Figura 83 - Diagramas de interações - Zona 2 – Coluna C - FAM



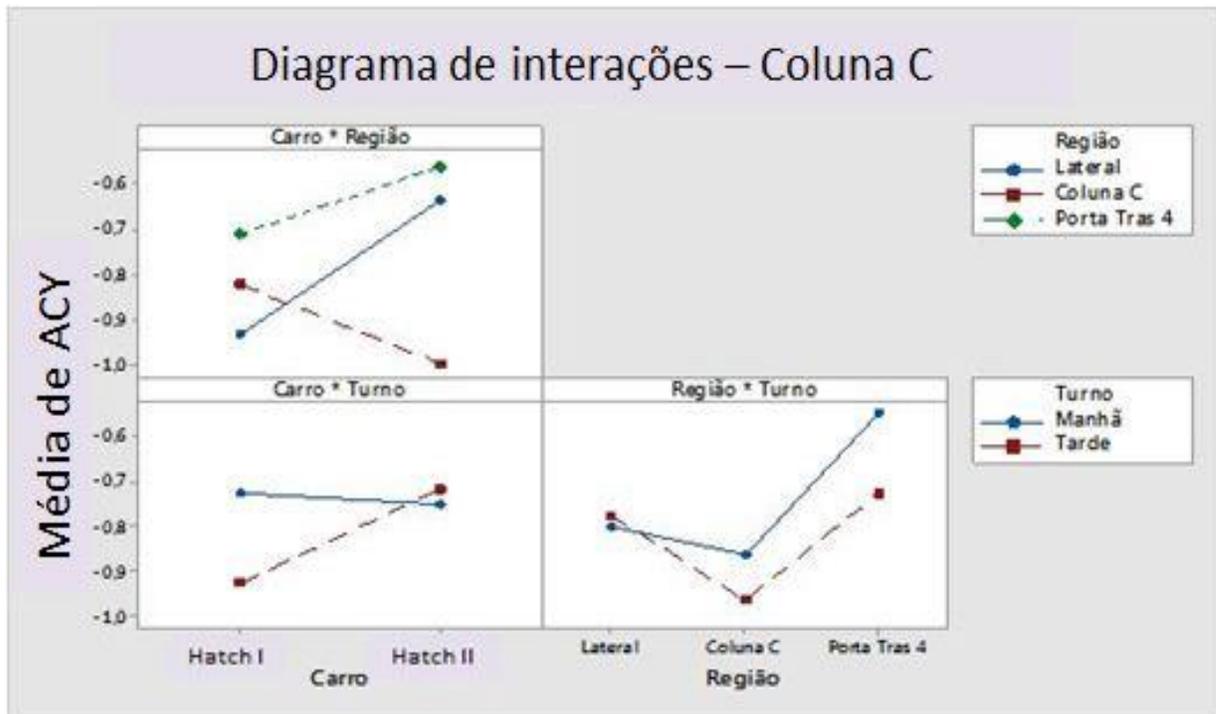
FONTE: Próprio autor.

Figura 84 - Média dos efeitos principais - Zona 2 – Coluna C - ACY



FONTE: Próprio autor.

Figura 85 - Diagramas de interações - Zona 2 – Coluna C - ACY



FONTE: Próprio autor.

Para a Zona 3, das Portas Dianteiras, ocorre influência relevante do fator Região, para FAM e ACY, e de sua interação com Carro, para o FAM, e da interação Carro*Turno para o ACY.

Figura 86 - Análise de variância Zona 3 – Portas Dianteiras - FAM

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	11	3,9673	0,36066	2,00	0,058
Linear	4	1,7950	0,44875	2,49	0,061
Carro	1	0,2852	0,28521	1,58	0,217
Regiões	2	1,4629	0,73146	4,05	0,026
Turno	1	0,0469	0,04688	0,26	0,613
2-way Interactions	5	1,8310	0,36621	2,03	0,098
Carro*Regiões	2	1,1904	0,59521	3,30	0,048
Carro*Turno	1	0,5419	0,54188	3,00	0,092
Regiões*Turno	2	0,0988	0,04938	0,27	0,762
3-way Interactions	2	0,3412	0,17062	0,95	0,398
Carro*Regiões*Turno	2	0,3412	0,17062	0,95	0,398
Error	36	6,4975	0,18049		
Total	47	10,4648			

FONTE: Próprio autor.

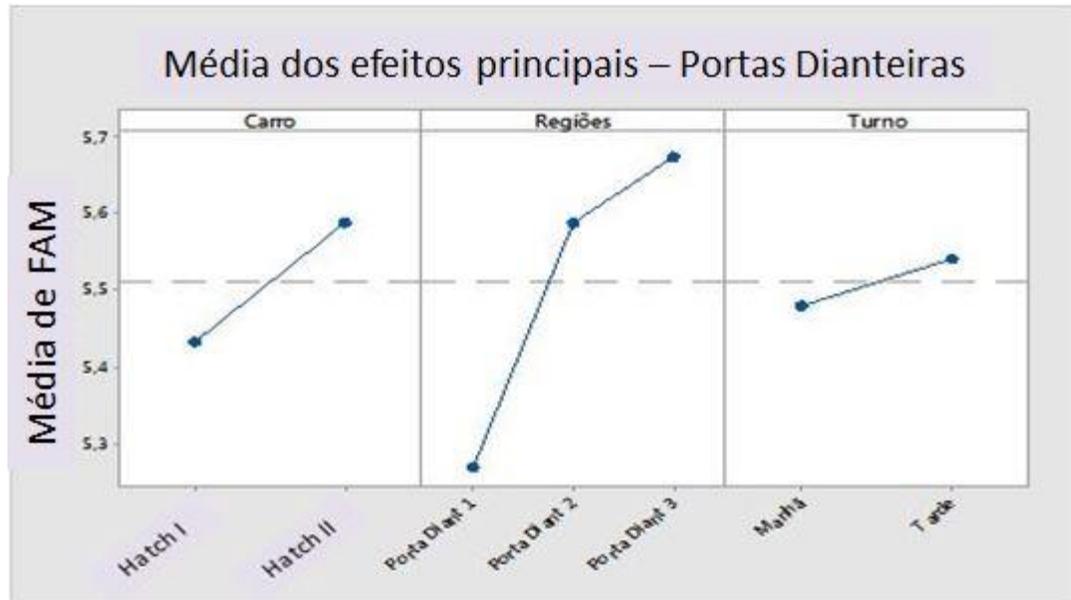
Figura 87 - Análise de variância Zona 3 – Portas Dianteiras – ACY

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	11	1,14917	0,104470	2,12	0,044
Linear	4	0,50958	0,127396	2,59	0,053
Carro	1	0,10083	0,100833	2,05	0,161
Regiões	2	0,39542	0,197708	4,02	0,027
Turno	1	0,01333	0,013333	0,27	0,606
2-way Interactions	5	0,55167	0,110333	2,24	0,071
Carro*Regiões	2	0,21792	0,108958	2,22	0,124
Carro*Turno	1	0,33333	0,333333	6,78	0,013
Regiões*Turno	2	0,00042	0,000208	0,00	0,996
3-way Interactions	2	0,08792	0,043958	0,89	0,418
Carro*Regiões*Turno	2	0,08792	0,043958	0,89	0,418
Error	36	1,77000	0,049167		
Total	47	2,91917			

FONTE: Próprio autor.

Tanto em relação ao valor de FAM quanto de ACY, foi observado o mesmo comportamento dos fatores relevantes. A região Porta Dianteira 1 apresentou o pior nível de casca de laranja e aspecto e essa diferença é mais notável no veículo Hatch II, conforme pode ser visto no diagrama de interações da Figura 89. Quanto ao aspecto, revelado pelo ACY, o Hatch I apresentou melhor desempenho de manhã, enquanto que o Hatch II à tarde.

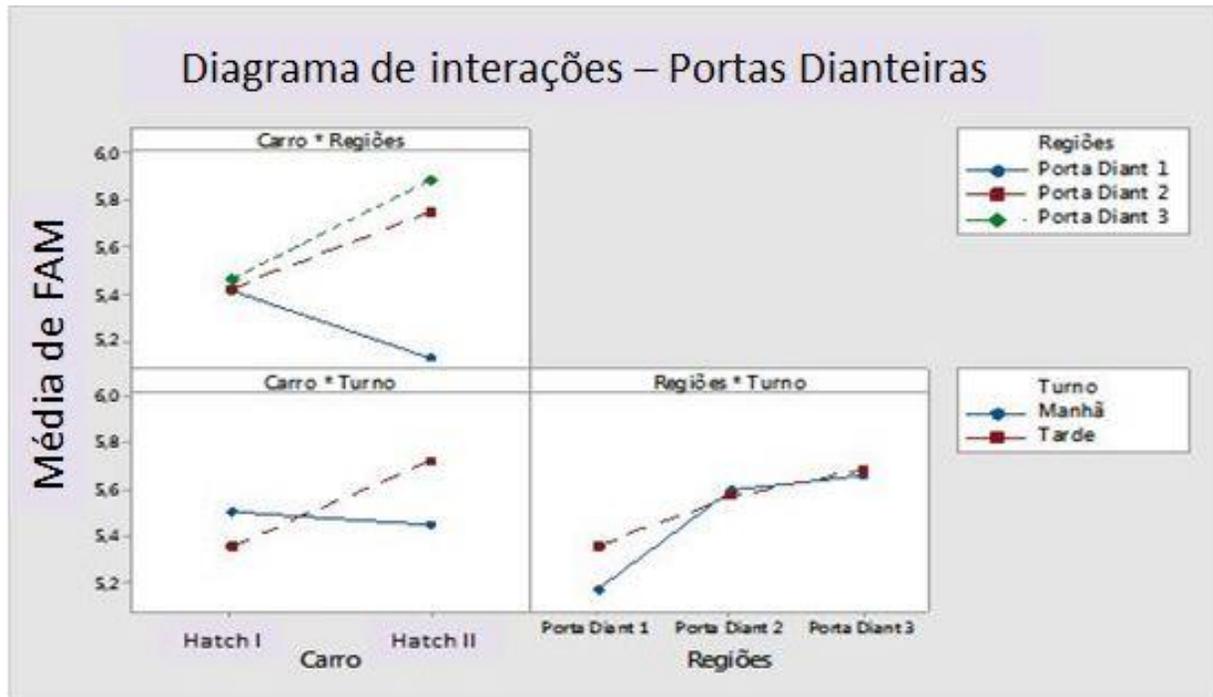
Figura 88 - Média dos efeitos principais - Zona 3 – Portas Dianteiras – FAM



FONTE: Próprio autor.

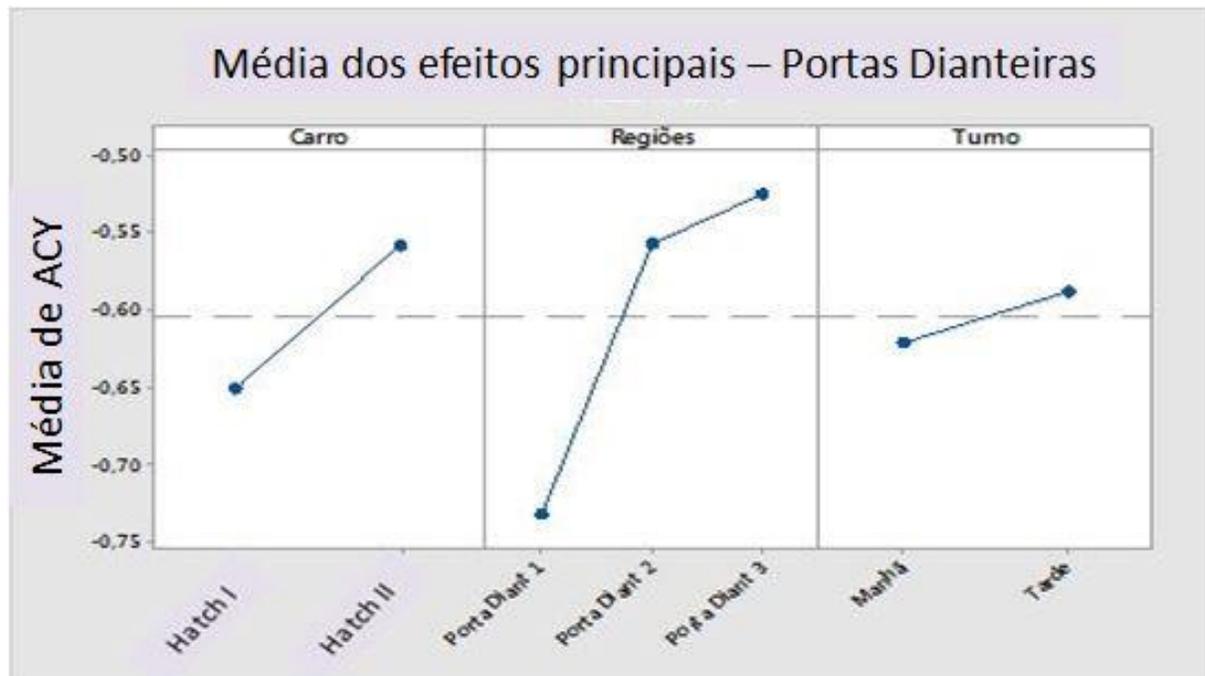
O modelo da Equação 5 apresenta nas Tabelas 3, 4 e 5 que os parâmetros de aplicação induzem a maiores valores de W_d para as regiões da Porta Dianteira 1 e 2 e a Porta Dianteira 3, o que foi observado experimentalmente. Entretanto, entre as regiões 1 e 2 do veículo Hatch II, há uma diferença razoável, de cerca de 0,5 para média de FAM e 0,3 para média de ACY. Como a aplicação nessas regiões é homogênea para os dois veículos, para que houvesse influência de geometria, deveria ser observada tal diferença para ambos.

Figura 89 - Diagrama de interações - Zona 3 – Portas Dianteiras - FAM



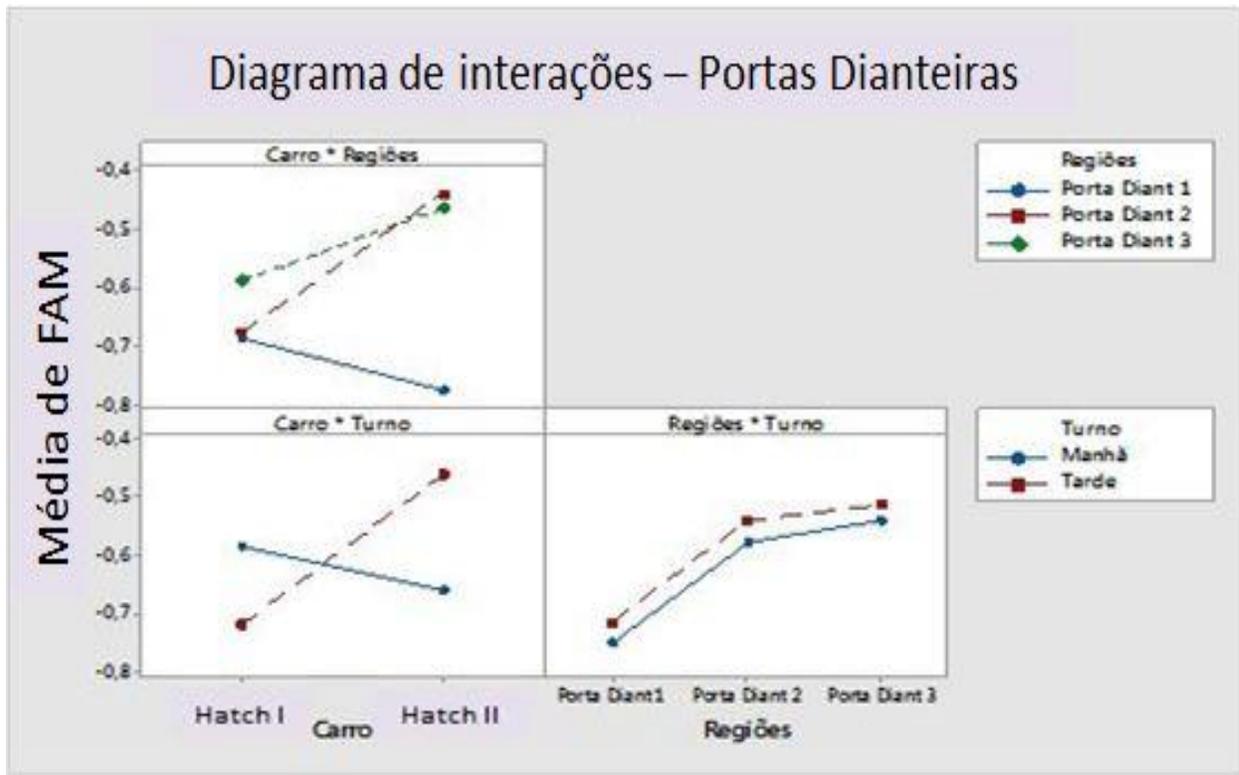
FONTE: Próprio autor.

Figura 90 - Média dos efeitos principais - Zona 3 – Portas Dianteiras - ACY



FONTE: Próprio autor.

Figura 91 - Diagrama de interações - Zona 3 – Portas Dianteiras - ACY



FONTE: Próprio autor.

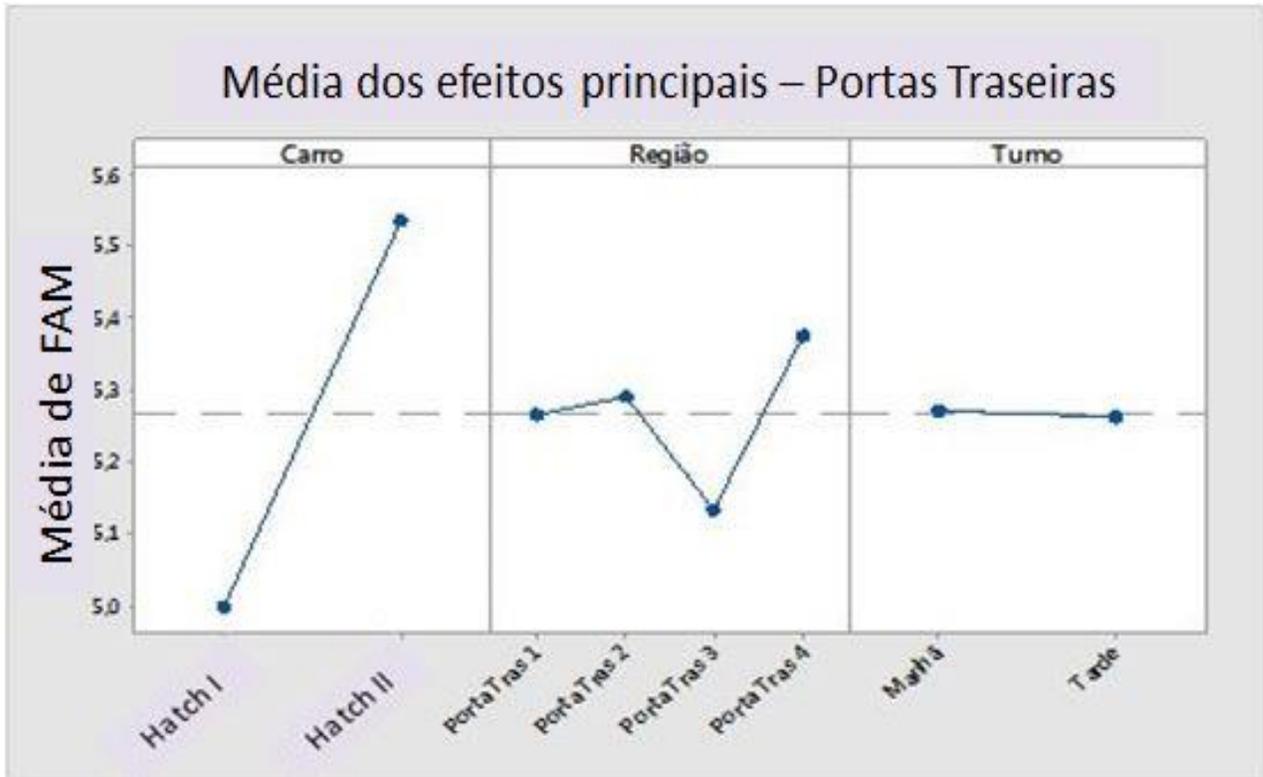
Para a Zona 4, das Portas Traseiras, apenas o fator Carro apresentou relevância, conforme mostra a Figura 92. Os dados das Tabelas 3 e 4 revelam parâmetros de aplicação diferentes das portas dianteiras, com previsão de pior nível para a região inferior, ao contrário da região dianteira.

Figura 92 - Análise de variância Zona 4 – Portas Traseiras - FAM

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	15	6,9133	0,46089	1,53	0,152
Linear	5	3,8833	0,77667	2,58	0,045
Carro	1	3,5208	3,52083	11,70	0,002
Região	3	0,3617	0,12056	0,40	0,754
Turno	1	0,0008	0,00083	0,00	0,958
2-way Interactions	7	2,2583	0,32262	1,07	0,404
Carro*Região	3	0,8075	0,26917	0,89	0,455
Carro*Turno	1	0,9633	0,96333	3,20	0,083
Região*Turno	3	0,4875	0,16250	0,54	0,658
3-way Interactions	3	0,7717	0,25722	0,85	0,475
Carro*Região*Turno	3	0,7717	0,25722	0,85	0,475
Error	32	9,6333	0,30104		
Total	47	16,5467			

FONTE: Próprio autor.

Figura 93 - Média dos efeitos principais Zona 4 – Portas Traseiras – FAM



FONTE: Próprio autor.

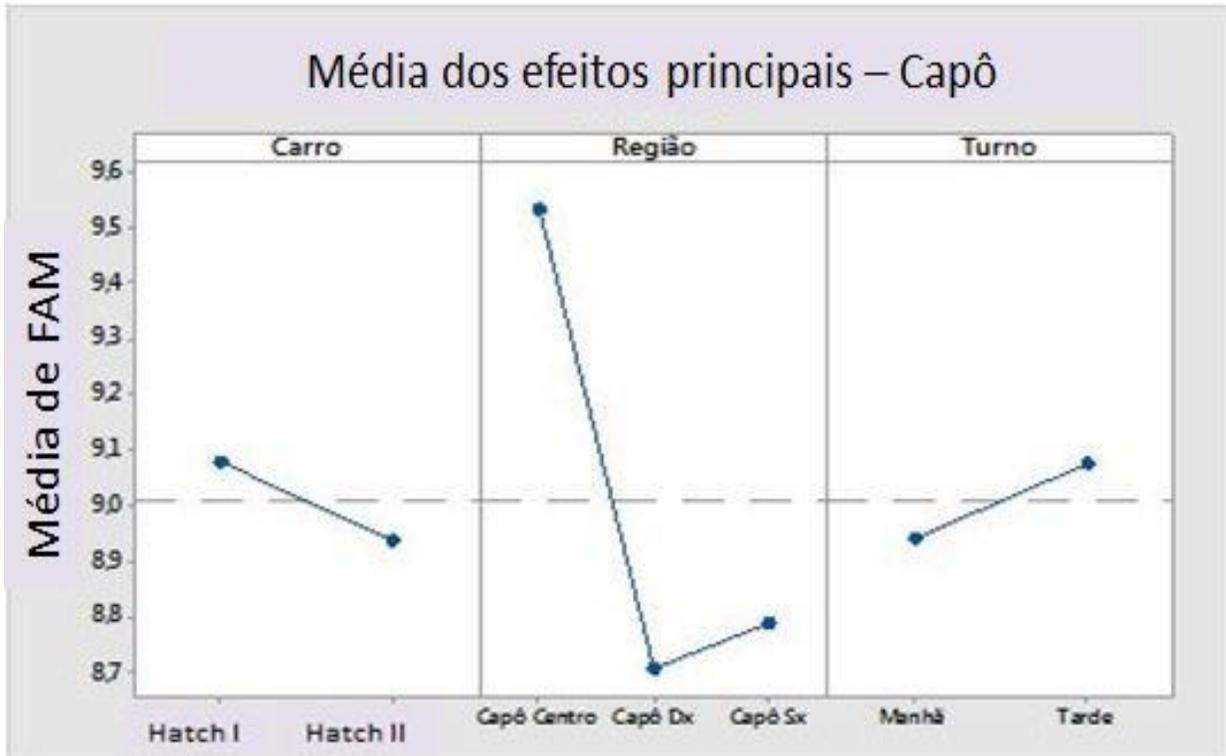
No caso da Zona 5, referente ao capô, o fator região demonstrou ter influência no valor de FAM, sendo que as laterais (Capô Dx e Sx) apresentaram média inferior à região central.

Figura 94 - Análise de variância Zona 5 – Capô- FAM

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	11	8,3617	0,76015	4,27	0,000
Linear	4	7,0696	1,76740	9,92	0,000
Carro	1	0,2408	0,24083	1,35	0,253
Região	2	6,6154	3,30771	18,56	0,000
Turno	1	0,2133	0,21333	1,20	0,281
2-way Interactions	5	1,0433	0,20867	1,17	0,342
Carro*Região	2	0,5529	0,27646	1,55	0,226
Carro*Turno	1	0,0075	0,00750	0,04	0,839
Região*Turno	2	0,4829	0,24146	1,36	0,271
3-way Interactions	2	0,2488	0,12438	0,70	0,504
Carro*Região*Turno	2	0,2488	0,12438	0,70	0,504
Error	36	6,4150	0,17819		
Total	47	14,7767			

FONTE: Próprio autor.

Figura 95 - Média dos efeitos principais Zona 5 – Capô- FAM



FONTE: Próprio autor.

Por fim, para a região do Teto, ou seja, a Zona 6, a interação Carro*Região influenciou no valor de FAM e os fatores Carro, Região e sua interação influenciaram no valor de ACY, conforme mostram as Figuras 96 e 97.

Figura 96 - Análise de variância Zona 6 – Teto - FAM

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
Model	11	26,0067	2,3642	6,77	0,000
Linear	4	3,0312	0,7578	2,17	0,092
Carro	1	1,3333	1,3333	3,82	0,058
Região	2	1,0904	0,5452	1,56	0,224
Turno	1	0,6075	0,6075	1,74	0,195
2-way Interactions	5	22,0625	4,4125	12,64	0,000
Carro*Região	2	20,2954	10,1477	29,06	0,000
Carro*Turno	1	1,0208	1,0208	2,92	0,096
Região*Turno	2	0,7462	0,3731	1,07	0,354
3-way Interactions	2	0,9129	0,4565	1,31	0,283
Carro*Região*Turno	2	0,9129	0,4565	1,31	0,283
Error	36	12,5700	0,3492		
Total	47	38,5767			

FONTE: Próprio autor.

Figura 97 - Análise de variância Zona 6 – Teto – ACY

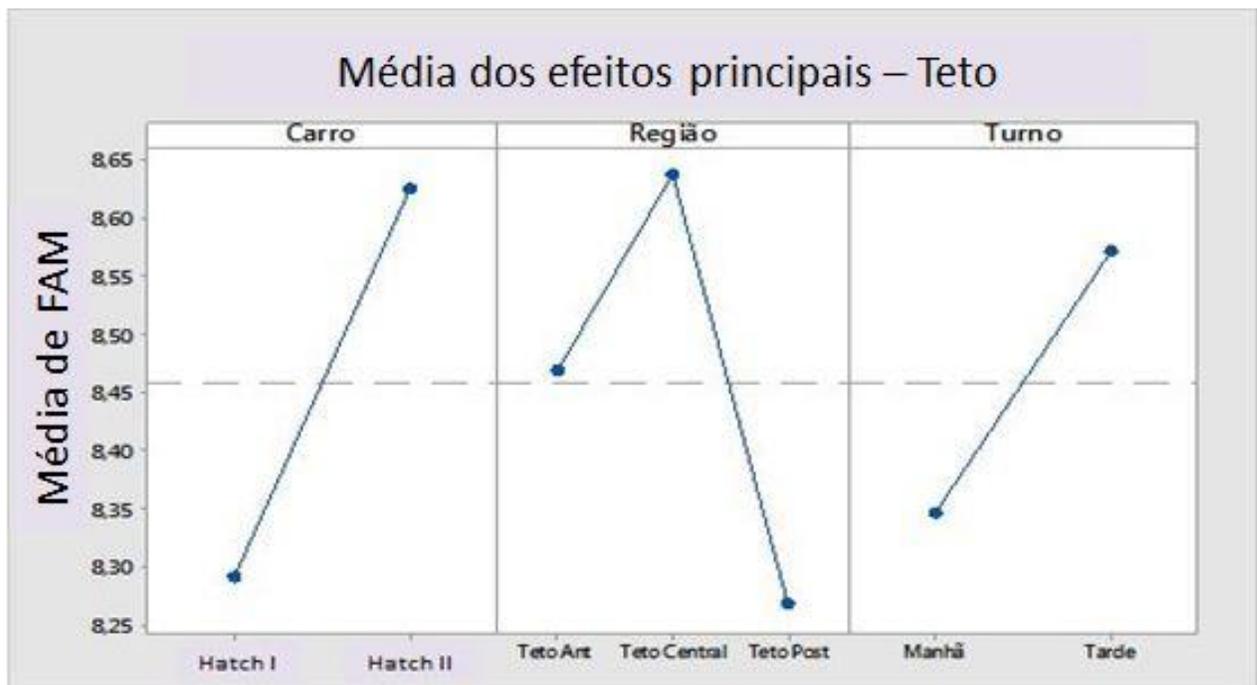
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	11	20,5292	1,8663	7,80	0,000
Linear	4	11,9450	2,9863	12,49	0,000
Carro	1	3,8533	3,8533	16,11	0,000
Região	2	7,8217	3,9108	16,35	0,000
Turno	1	0,2700	0,2700	1,13	0,295
2-way Interactions	5	7,8825	1,5765	6,59	0,000
Carro*Região	2	7,0417	3,5208	14,72	0,000
Carro*Turno	1	0,3008	0,3008	1,26	0,269
Região*Turno	2	0,5400	0,2700	1,13	0,335
3-way Interactions	2	0,7017	0,3508	1,47	0,244
Carro*Região*Turno	2	0,7017	0,3508	1,47	0,244
Error	36	8,6100	0,2392		
Total	47	29,1392			

FONTE: Próprio autor.

As Figuras 98 e 99 mostram que a região posterior do teto apresentou pior nível de casca de laranja para o Hatch II, enquanto a central foi a pior para o Hatch I. Essa diferença pode ter se dado pelo fato de a medição da região posterior do Hatch II ter sido realizada no Spoiler. Nos dois veículos a região anterior do teto obteve melhor desempenho.

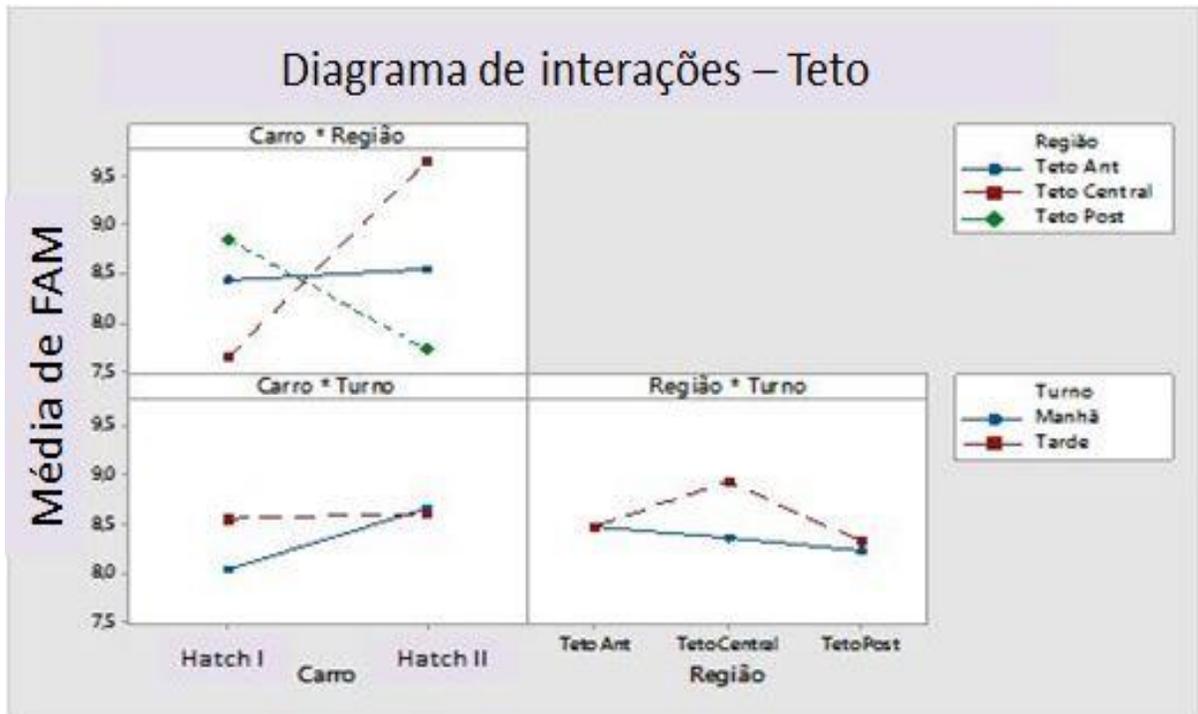
Em relação ao aspecto da pintura, a região central do Hatch I apresentou o pior desempenho, com média de ACY de -1,6, enquanto que as outras regiões apresentaram média próximo de 0, conforme mostra a Figura 101.

Figura 98 - Média dos efeitos principais Zona 6 – Teto – FAM



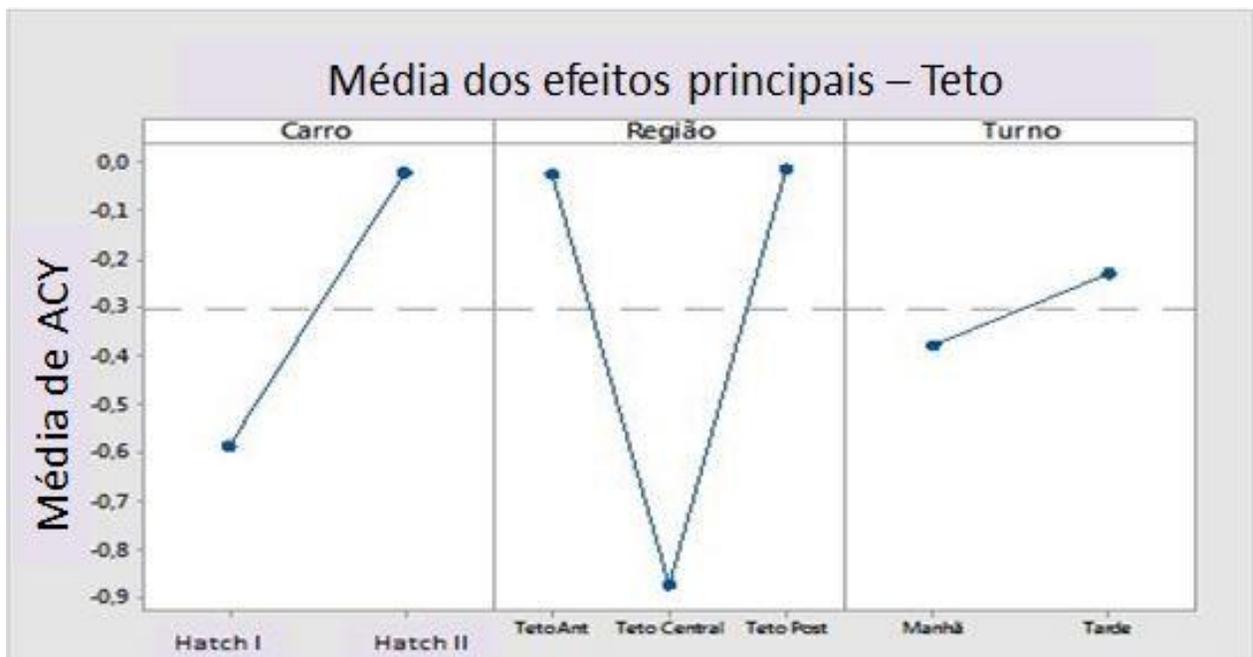
FONTE: Próprio autor.

Figura 99 - Diagrama de interações Zona 6 – Teto – FAM



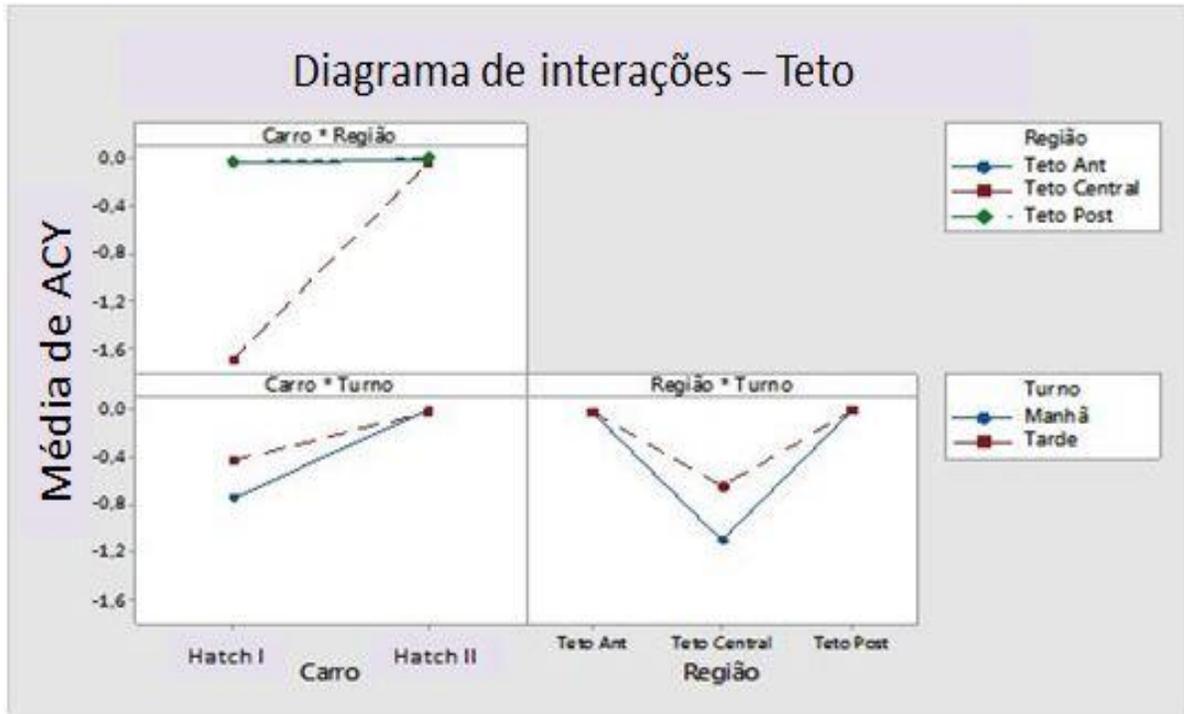
FONTE: Próprio autor.

Figura 100 - Média dos efeitos principais Zona 6 – Teto – ACY



FONTE: Próprio autor.

Figura 101 - Média dos efeitos principais Zona 6 – Teto – ACY



FONTE: Próprio autor.

A Tabela 6 mostra a média de FAM da camada de *Primer* de 5 carrocerias de veículos Hatch I e Hatch II. Através dos dados, é possível perceber que, com exceção das horizontais, todas as outras regiões apresentaram o mesmo comportamento em relação ao nível de casca de laranja que foi observado no DOE. Além disso, houve melhora considerável no valor de FAM após a aplicação de *Base Coat* e *Clear Coat* também apenas para as horizontais, ressaltando a importância da posição de secagem.

Isso revela que as regiões podem ter herdado a casca de laranja desde camadas inferiores de revestimento, tanto do *Primer* quanto do *E-coat* e pré-tratamentos. Ainda assim, a geometria pode ter exercido influência sobre esse comportamento, visto que após a aplicação das camadas de *Base Coat* e *Clear Coat* as diferenças de aparência entre as regiões se mantiveram.

Portanto, a aplicação da base e verniz mudou apenas o aspecto para rechupado ou encascado e melhorou de forma geral o nível de casca de laranja com aumento dos valores de FAM, principalmente para as horizontais, mas sem mudar a diferença de valores entre as regiões.

Tabela 5 - Média de FAM de veículos Hatch I e Hatch II - Primer X Ciclo Completo

Região	Hatch I - Primer	Hatch II - Primer	Hatch I - Ciclo Completo	Hatch II - Ciclo Completo
Capô Sx	5,9	6,3	8,9	8,7
Capô Central	6,2	5,9	9,7	9,3
Capô Dx	6,8	6,5	8,7	8,8
Capô Lateral	5,3	5,6	5,2	5,8
Para-lamas Superior	3,7	4,1	4,5	4,8
Para-lamas Inferior	4,4	4,4	5,0	5,4
Porta Dianteira 1	5,2	4,0	5,4	5,1
Porta Dianteira 2	5,9	5,7	5,4	5,8
Porta Dianteira 3	5,2	5,4	5,5	5,9
Porta Traseira 1	6,2	5,4	5,2	5,4
Porta Traseira 2	5,8	6,1	5,1	5,5
Porta Traseira 3	5,5	5,4	4,8	5,6
Porta Traseira 4	6,1	4,7	5,0	5,8
Coluna C	4,8	4,3	5,0	4,7
Lateral	4,2	5,2	4,3	5,5
Teto Anterior	5,5	5,4	8,4	8,5
Teto Central	6,4	6,6	7,6	9,7
Teto Posterior	4,9	5,4	8,8	7,7

FONTE: Próprio autor.

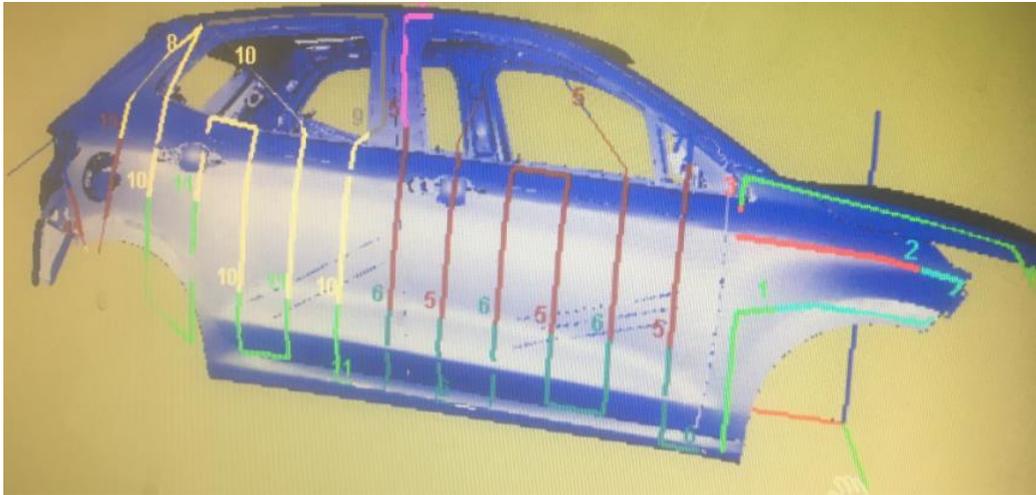
A Figura 102 mostra a sequência de aplicação para o Hatch I, que serve para *Base Coat* e *Clear Coat*, mas que também pode ser estendida para o Hatch II. Considerando que a distância entre o sino do robô e a superfície de aplicação deve ser fixa, para mantê-la nas regiões onde há curvatura é necessário que o robô incline o sino para haver uma compensação.

Entretanto, nem sempre isto é possível, como é o caso da região inferior das portas. Para corrigir esse problema, uma das soluções é diminuir a vazão, para evitar escorrimento do revestimento, o que é observado para a região inferior das portas dianteiras e o que pode ter resultado na melhor aparência em relação às partes superiores. Já a pior aparência para a Porta

Dianteira 1 observada no DOE pode ter ocorrido devido a curvatura, mesmo com a compensação do robô.

Em relação à Zona 1, considerando apenas a aplicação de base e verniz, a região do Para-lamas Superior pode ter apresentado pior aparência pelo fato de receber tinta do *Brush 1*, que pinta o Capô Lateral a uma inclinação sem compensação, portanto haverá um acúmulo de partículas maiores de tinta que atingiram maior energia para se mover, enquanto que o Capô Lateral recebe as menores. O *Brush 3*, que pinta o Para-lamas Superior e Inferior, cobre as duas regiões sem haver uma compensação de inclinação, gerando o mesmo efeito para ambas. Esses mecanismos podem justificar a melhor aparência do Capô Lateral em relação às outras duas regiões desta Zona.

Figura 102 - Programação do robô de aplicação para o veículo Hatch I



FONTE: Próprio autor.

5. CONCLUSÃO

A utilização do parâmetro FAM se mostrou produtiva em relação aos parâmetros desenvolvidos anteriormente, por conseguir classificar as diferentes aparências quanto ao nível de Casca de Laranja. Porém, para analisar o aspecto, o parâmetro ACY deve ser utilizado em conjunto, mesmo não tendo uma escala ideal para separar os diferentes aspectos de pintura. Ainda assim, para uma análise mais detalhada, o Espectro Estrutural se manteve como a melhor ferramenta, por mostrar de forma clara todas as diferenças entre as curvas espectrais de cada região.

Na análise geral dos veículos, houve uma diferença de aspecto entre as cores sólidas e as com efeito, onde estas apresentaram um aspecto tendendo ao rechupado, com SW maior que LW e as sólidas com um aspecto molhado e encascado, com LW maior que SW, o que foi confirmado através da diferença do formato das curvas espectrais, do valor de ACY e concluído pela análise visual. O mesmo comportamento foi observado na comparação com veículos da concorrência e de outras plantas da montadora, com exceção para os carros de cores sólida da planta de Pernambuco, que apresentaram aspecto tendendo ao rechupado.

Na comparação entre os veículos, foram observadas diferenças que puderam ser relacionadas aos parâmetros de aplicação tanto de *Base Coat* quanto *Clear Coat*, coletados na linha de pintura da montadora.

Na análise da influência da geometria na aparência dos veículos Hatch I e Hatch II, apenas algumas zonas apresentaram resultados estatísticos suficientemente conclusivos. Mesmo assim, foi possível observar diferenças de aparência em regiões com diferentes geometrias, o que pode ser associado com o posicionamento do robô durante a aplicação, a forma como o revestimento atinge e é secado/curado na superfície ou pela influência do estado superficial de camadas inferiores.

REFERÊNCIAS

AHMADABADI, H. Yazdani et al. The impact of baking conditions on physico-chemical characteristics influencing topography and appearance aspects of polyurethane coatings. **Journal Of Coating Technology**. Tehran, Iran, p. 1688-1694. ago. 2014.

AHMAD, Adnan Darwish et al. Schlieren Visualization of Shaping Air durin Operation of an Electrostatic Rotary Bell Sprayer: Impact of Shaping Air on Droplet Atomization and Transport. **Coatings**. Lexington, Eua, p. 279-293. ago. 2018.

AMERI, Farhad et al. Correlation between the BYK's balance index and the appearance of visually assessed achromatic automotive finishes. **Progress In Organic Coatings**. Tehran, Iran, p. 425-430. fev. 2014.

AMOOKHT, S. et al. The effect of clear coat and basecoat interdiffusion on the appearance of automotive coating system. **Progress In Organic Coatings**. Tehran, Iran, p. 1325-1328. out. 2013.

DETMER, James. **What's The Deal With Orange Peel?** Disponível em: <<https://www.drbeasleys.com/blog/2012/09/06/whats-the-deal-with-orange-peel/>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

ELLWOOD, Kevin. R. J. et al. A simplified analysis method for correlating rotary atomizer performance on droplet size and coating appearance. **Journal Of Coating Technology**. Minneapolis, Eua, p. 303-309. fev. 2013.

GARDNER, Byk. **QC Solutions for coatings and plastics**. 2016. Disponível em: <<https://www.byk.com/fr/assistance/instruments/catalogue.html#>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

GOLDSCHIMDT, Artur; STREITBERGER, Hans-joachim. **Basics of Coating Technology**. 2. ed. Munster, Alemanha: Vincentz, 2007.

JAFARI, R.; AMERI, F.. Effect of orange peel attribute of automotive finishes on their blackness perception. **Journal Of Coating Technology**. Tehran, Iran, p. 18-27. fev. 2018.

KONIECZNY, Jonathan; MEYER, Gary. **Application, rendering and display of automotive paint**. 2009. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Computer Science, University Of Minnesota, Minneapolis, Eua, 2009.

KONIECZNY, Jonathan; MEYER, Gary. Computer rendering and visual detection of Orange Peel. **Journal Of Coating Technology**. Minneapolis, Eua, p. 297-307. fev. 2012.

LEX, Konrad. **New structure space with Balance Chart Analysis**. Dearborn, Eua: Byk Gardner, 2010. Color.

MARIGONDA, Sérgio. **Wave-scan Dual**. Santo André: Mast Grupo, 2010. Color.

MARCHETTI, Barbara. **Nueva norma per la distensione**. Turim, Italia: Fca, 2016. Color.

PETERS, Cindy A.; NICHOLS, Mark E.; ELLWOOD, Kevin R. J.. The evolution of surface texture in automotive coatings. **Journal Of Coating Technology**. Minneapolis, Eua, p. 469-480. abr. 2011.

RAY, R.; HENSHAW, P.. Evaporation of clearcoat solvents from a rotary bell atomizer and its relationship with bell speed, flow rate, and elctrostatic potential. **Journal Of Coating Technology**. Windsor, Canada, p. 41-49. fev. 2018.

SEELER, Fabian et al. Simulations and experimental investigation of paint film leveling. **Journal Of Coating Technology**. Stuttgart, Alemanha, p. 767-781. fev. 2017.

SOUZA, Bruno de et al. Uso do projeto robusto para identificação de fatores que contribuem para a intensidade do aspecto "casca de laranja" em superfície de para-choques pintados. **Gestão da Produção**. São Carlos, p. 104-122. fev. 2018.

VITTOY, Ricardo. **Instrumento de Medição Parâmetros de Rugosidade**. Goiania: Puc Goias, 2013. Color.

ANEXO I – REGIÕES DE MEDIÇÃO

Tabela 6 - Regiões de avaliação Hatch I, Hatch II e Pick Up

Região	Hatch I	Hatch II	Pick Up
A	Capô	Capô	Capô
B	Capô Dx/Sx	Capô Dx/Sx	Capô Dx/Sx
C	Capô Lateral Dx/Sx	Capô Lateral Dx/Sx	Para-lamas Dx/Sx
D	Para-lama Sup Dx/Sx	Para-lama Sup Dx/Sx	Porta Diant. 1 Dx/Sx
E	Para-lama Inf Dx/Sx	Para-lama Inf Dx/Sx	Porta Diant. 2 Dx/Sx
F	Porta Diant. 1 Dx/Sx	Porta Diant. 1 Dx/Sx	Coluna C Dx/Sx
G	Porta Diant. 2 Dx/Sx	Porta Diant. 2 Dx/Sx	Lateral 1 Dx/Sx
H	Porta Diant. 3 Dx/Sx	Porta Diant. 3 Dx/Sx	Lateral 2 Dx/Sx
I	Porta Tras. 1 Dx/Sx	Porta Tras. 1 Dx/Sx	Lateral 3 Dx/Sx
J	Porta Tras. 2 Dx/Sx	Porta Tras. 2 Dx/Sx	Lateral 4 Dx/Sx
K	Porta Tras. 3 Dx/Sx	Porta Tras. 3 Dx/Sx	Mala 1
L	Porta Tras. 4 Dx/Sx	Porta Tras. 4 Dx/Sx	Mala 2
M	Coluna C Dx/Sx	Coluna C Dx/Sx	Teto 1
N	Lateral Sx	Lateral Sx	Teto 2
O	Teto 1	Teto 1	Teto 3
P	Teto 2	Teto 2	-
Q	Teto 3	Spoiler	-
R	Mala 1	-	-
S	Mala 2	-	-

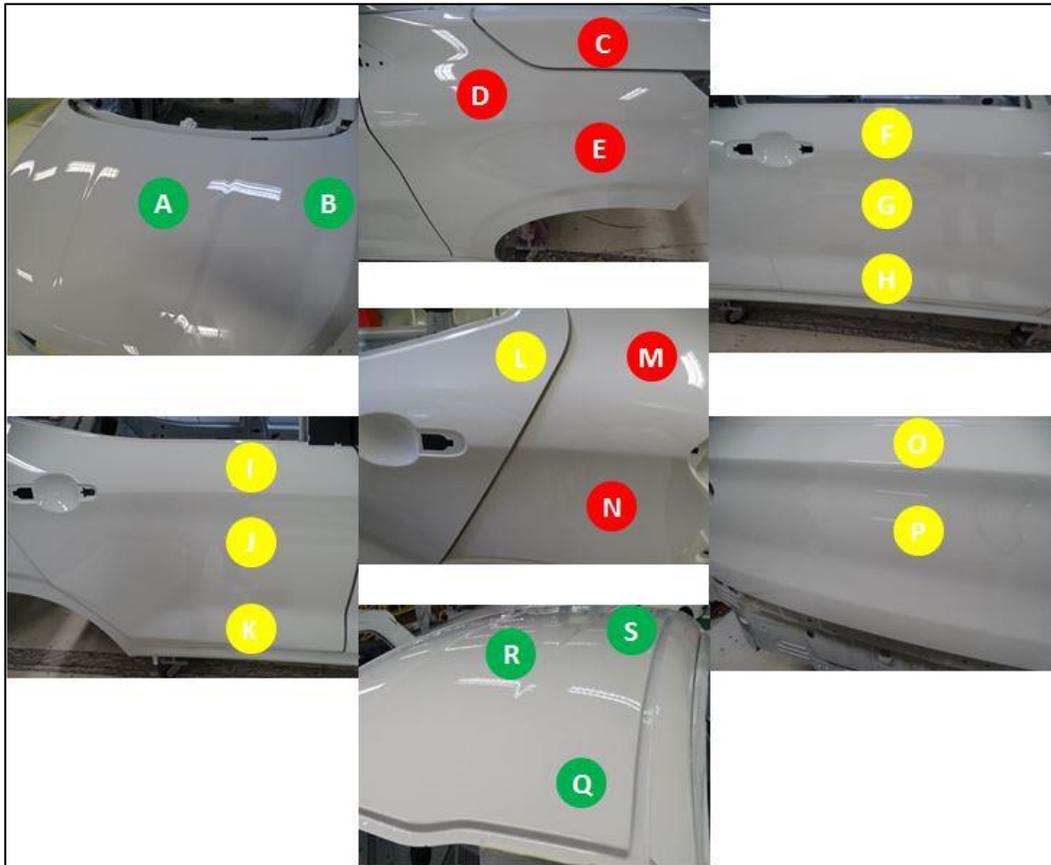
FONTE: Próprio autor.

Tabela 7 - Regiões DOE

Zona	Regiões (Hatch I e Hatch II)
Zona 1 –Para-lamas	C, D e E
Zona 2 - Coluna C	L, M e N
Zona 3 – Portas Diant.	F, G e H
Zona 4 – Portas Tras.	I, J, K e L
Zona 5 – Capô	A e B
Zona 6 – Teto	O, P e Q

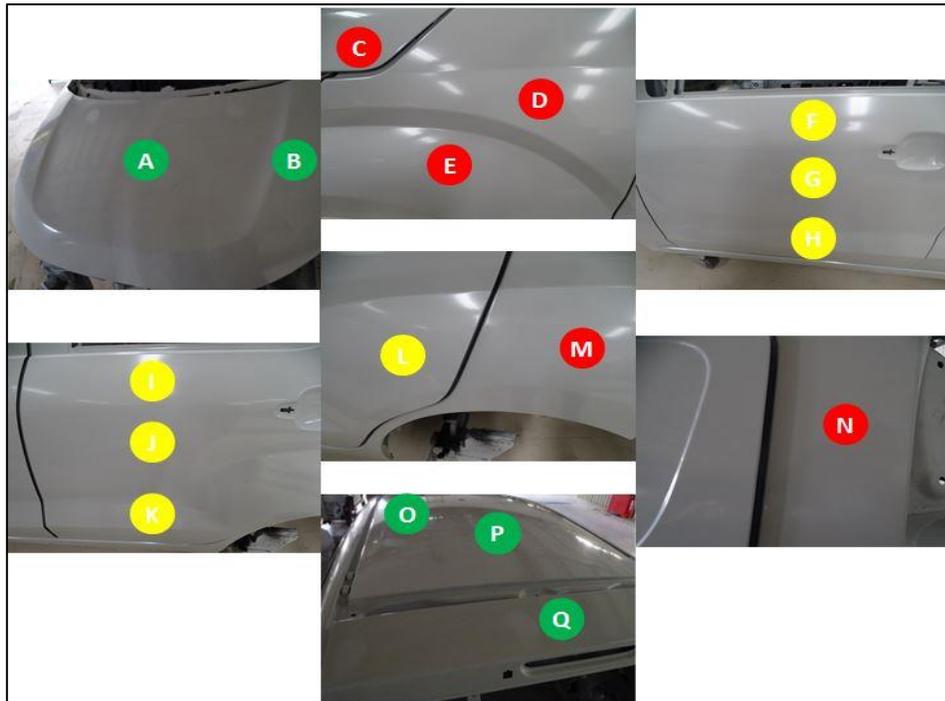
FONTE: Próprio autor.

Figura 103 - Regiões de avaliação Hatch I



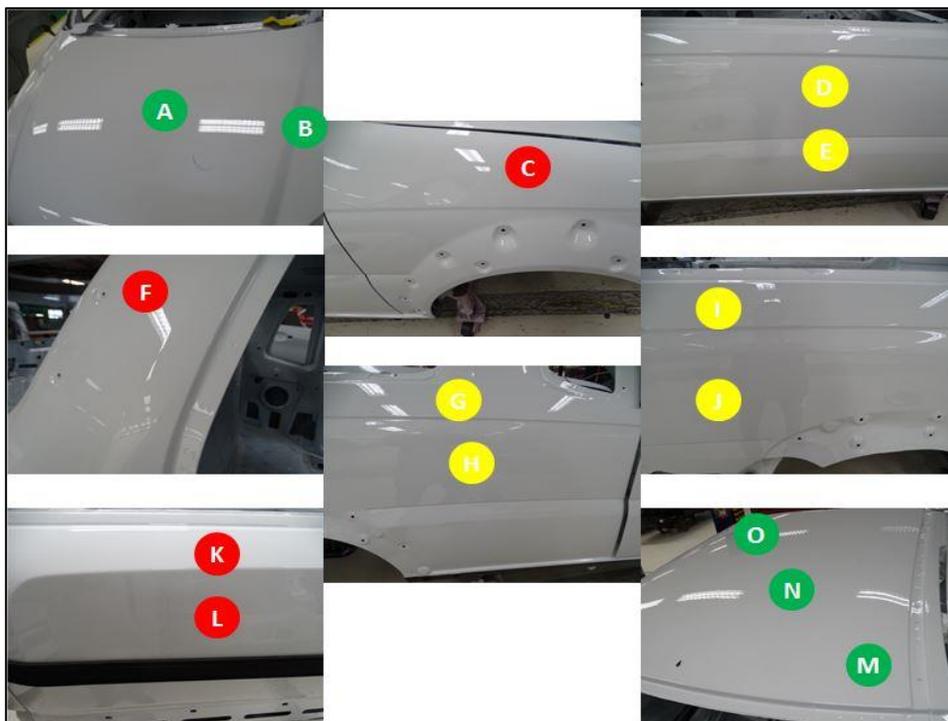
FONTE: Próprio autor.

Figura 104 - Regiões de avaliação Hatch II



FONTE: Próprio autor.

Figura 105 - Regiões de avaliação Pick Up



FONTE: Próprio autor.

Figura 106 - Planejamento experimental DOE

Session									
Welcome to Minitab, press F1 for help.									
Multilevel Factorial Design									
Factors:		3		Replicates:		4			
Base runs:		12		Total runs:		48			
Base blocks:		1		Total blocks:		1			
Number of levels: 2; 3; 2									
Worksheet1 ***									
↓	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Carro	Região	Turno	FAM	ACY
1	22	1	1	1		Paralama Superior	Tarde		
2	2	2	1	1		Capô Lateral	Tarde		
3	45	3	1	1		Paralama Superior	Manhã		
4	16	4	1	1		Paralama Superior	Tarde		
5	6	5	1	1		Paralama Inferior	Tarde		
6	38	6	1	1		Capô Lateral	Tarde		
7	9	7	1	1		Paralama Superior	Manhã		
8	8	8	1	1		Capô Lateral	Tarde		
9	35	9	1	1		Paralama Inferior	Manhã		
10	41	10	1	1		Paralama Inferior	Manhã		
11	43	11	1	1		Capô Lateral	Manhã		
12	20	12	1	1		Capô Lateral	Tarde		
13	19	13	1	1		Capô Lateral	Manhã		
14	31	14	1	1		Capô Lateral	Manhã		
15	29	15	1	1		Paralama Inferior	Manhã		
16	18	16	1	1		Paralama Inferior	Tarde		

FONTE: Próprio autor.