

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIENCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIENCIA DE MATERIAIS

José Rogério de Oliveira Campos

**DEGRADAÇÃO DA COR E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE
PAPEL JAPONÊS SUJEITO A FOTO-OXIDAÇÃO POR LUZ UV.**

Recife

2016

José Rogério de Oliveira Campos

**DEGRADAÇÃO DA COR E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE
PAPEL JAPONÊS SUJEITO A FOTO-OXIDAÇÃO POR LUZ UV.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Emmanuel de Souza (UFPE).

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Yêda Medeiros Bastos de Almeida (UFPE).

Co-orientador Externo: Prof. Dr. Henry L. Sullasi (UFPE).

Recife

2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Joana D'Arc Leão Salvador CRB 4-572

C198d Campos, José Rogério de Oliveira.
Degradção da cor e propriedades mecânicas de papel japonês sujeito a foto-oxidação por luz UV / José Rogério de Oliveira Campos. – 2016.
97 f.: fig., tab.

Orientador: Ricardo Emmanuel de Souza.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CCEN. Ciência de Materiais, Recife, 2016.
Inclui referências e apêndices.

1. Museologia. 2. Papel – Conservação e restauração. 3. Papel - Deterioração. I. Souza, Ricardo Emmanuel de (Orientador). II. Título.

069.53 CDD (22. ed.) UFPE-FQ 2016-21

JOSÉ ROGÉRIO DE OLIVEIRA CAMPOS
**DEGRADAÇÃO DA COR E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PAPEL JAPONÊS
SUJEITO A FOTO-OXIDAÇÃO POR LUZ UV**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência de Materiais.

Aprovada em: 03 / 03 / 2016.

BANCA EXAMINADORA


Prof^o Ricardo Emmanuel de Souza (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco


Prof^o Eduardo Henrique Lago Falcão (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco


Prof^o Clodomiro Álvés Júnior (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Aos meus filhos, eterna inspiração; (in memoriam) ao meu irmão Rinaldo, que sempre esteve presente em todos os meus momentos importantes, falecido no decorrer desta dissertação e aos meus pais que sempre acreditaram que o esforço e dedicação à escola possibilita um futuro melhor e possível.

Agradecimentos

Ao Laborarte - FUNDAJ, na pessoa do Sr. Givaldo Batista; ao Instituto Ricardo Brennand, na pessoa da Bibliotecária Aruza Holanda, pela colaboração na escolha dos materiais objetos da pesquisa.

Ao Estúdio81, em particular ao Prof. Antonio Domingos Luna Costa, que fotografou as amostras da pesquisa e processou as imagens;

Ao meu amigo João Manoel Lóssio Bezerra, sempre pronto para me auxiliar;

Aos funcionários da UFPE, Ingrid Vanessa e Rangel Cruz, sempre atenciosos e prestativos;

Aos funcionários, Severino Ramos, Valdomiro José, e João Francisco da Oficina Mecânica do Departamento de Física da UFPE, pela contribuição com a confecção de peças para os equipamentos usados na pesquisa;

Aos Professores da UFPE: Dr. Petrus Santa Cruz, Dr. Walter Azevedo e Dr. Eduardo Falcão do Departamento de Química Fundamental e ao Professor Eduardo P. Hernández do Departamento de Física, pelos esclarecimentos sempre que precisei;

Ao Professor Anderson Stevens L. Gomes do Departamento de Física da UFPE, por ter possibilitado o uso do Colorímetro.

Ao meu orientador externo, Professor Dr. Henry L. Sullasi do Departamento de Arqueologia da UFPE, pelas colaborações.

A minha co-orientadora, Professora Yêda M. B. de Almeida do Dep. Eng. Química.

Ao meu orientador, Professor Dr. Ricardo Emmanuel de Souza, sempre paciente e disponível as minhas solicitações.

A todos que de forma direta ou indireta colaboraram com a realização desta pesquisa.

“... aqueles que por obras valorosas se vão da lei da morte libertando...”.

(Os Lusíadas).

Luis Vaz de Camões

Resumo

Estudos anteriores sempre buscaram elucidar a degradação do papel em aspectos como cor, resistência à tração ou alongamento. Todavia, a literatura conhecida não apresenta estudos sistemáticos de degradação do Papel Japonês, material largamente utilizado nos processos de restauração. Nestes processos, o papel Japonês é aplicado ao objeto de papel e a partir deste momento tem-se a evolução temporal das propriedades de um sistema duplo onde os materiais estão embebidos ou conectados fisicamente. Nesta situação, é de grande relevância a compreensão do comportamento em termos de cor e de propriedades mecânicas dos papeis Japonês de modo que permita uma escolha mais adequada para uma dada restauração. Assim, apresentamos um estudo, que consideramos inicial, sobre a alteração de cor em amostras de papel Branco, comumente usado em impressora de escritório, em amostras de papel Whatman e em amostras de seis tipos de papeis Japonês. As amostras dos papeis foram submetidas a um processo controlado de degradação artificial que teve como agente catalisador a irradiação por luz UV. A evolução temporal da cor das amostras foi medida semanalmente. As cores foram medidas no espaço de cores $L^*a^*b^*$. Além disso, foram realizados ensaios mecânicos, em quase todas as amostras, como função do tempo de irradiação ultravioleta. Para análise dos dados de cor, foram utilizados o conceito de contraste de cor, ΔE^* , e foi definido um novo parâmetro nomeado IDC – Índice de Degradação da Cor. Para a análise dos dados de comportamento mecânico, foi definido um novo parâmetro nomeado FQ_M – Fator de Qualidade Mecânica. No final, é apresentado um diagrama onde os papeis são classificados em regiões de qualidade com relação à cor e à resistência mecânica.

Palavra-chave: Papel Japonês. Degradação de Papel. Degradação de Cor. Degradação da Resistência Mecânica. h-Museometria.

Abstract

Previous studies have always sought to elucidate the degradation of paper on aspects such as color, tensile strength and elongation. However, the known literature shows no systematic studies of degradation of Japanese paper, material widely used in the restoration process. In these processes, the Japanese paper is applied to the paper object and from that moment there has been the evolution of dual system properties where the materials are physically embedded or attached. In this situation, it is of great importance to understanding the behavior in terms of color and mechanical properties of Japanese papers in order to allow a choice most appropriate for a given restoration. Thus, we present a study, which we consider initial on the color change in White paper samples, commonly used in office printer, on Whatman paper samples and samples of six types of Japanese papers. Samples of the papers were subjected to a controlled artificial degradation process which had as a catalyst to irradiation by UV light. The temporal evolution of the color of the samples was measured weekly. The colors were measured in the colors space $L^*a^*b^*$. Furthermore, mechanical tests were performed in almost all samples as a function of ultraviolet irradiation time. To analyze the color data, we used the concept of color contrast, ΔE^* , and defined a new parameter named CDI - Color Degradation Index. For the analysis of the mechanical behavior of data, a new parameter named QF_M - Quality Factor Mechanics has been set. In the end, a diagram where the papers are classified into quality regions regarding the color and the mechanical strength is displayed.

Key words: Japanese paper. Paper degradation. Color degradation. Mechanical resistance degradation. h-Museometry.

Lista das Figuras

	Página
Figura-2.1: Exemplifica faixas de ondas eletromagnéticas	22
Figura-2.2: Seção transversal e visão esquemática da retina do olho humano	23
Figura-2.3: Gráfico da correspondência das cores e a sensibilidade humana	24
Figura-2.4a: Diagrama de Cromaticidade CIE 1931.....	25
Figura-2.4b: Diagrama de Cromaticidade CIE 1976	25
Figura-2.5: Espaço de Cor RGB	25
Figura-2.6: Espaço de Cor HSI	26
Figura-2.7: Espaço de Cor L*a*b*	26
Figura-3.8: Protótipo 01 do Irradiador	28
Figura-3.9: Protótipo 02 do Irradiador	28
Figura-3.10: Instrumentos do Irradiador	29
Figura-3.11: Protótipo 03 do Irradiador	29
Figura-3.12: Protótipo 04 do Irradiador	29
Figura-3.13: Lâmpada UV-C	30
Figura-3.14: Representação gráfica da função $x^2 = 12,80y$	30
Figura-4.17: Trajetória espacial da cor do Papel Branco em função do tempo	34
Figura-4.18: Trajetória espacial da cor do Papel Whatman em função do tempo	35
Figura-4.19: Trajetória espacial da cor do Papel Maruishi em função do tempo	35
Figura-4.20: Trajetória espacial da cor do Papel Tengujo em função do tempo	36
Figura-4.21: Trajetória espacial da cor do Papel Sudare em função do tempo	36
Figura-4.22: Trajetória espacial da cor do Papel Gampi em função do tempo	37
Figura-4.23: Trajetória espacial da cor do Papel Okawara em função do tempo	37
Figura-4.24: Trajetória espacial da cor do Papel Mulberry em função do tempo	38

Lista das Figuras

	Página
Figura-4.25: Gráfico da Tensão, Deformação e Modulo Elástico do Papel Branco	39
Figura-4.26: Gráfico da Tensão, Deformação e Modulo Elástico do Papel Whatman ..	40
Figura-4.27: Gráfico da Tensão, Deformação e Modulo Elástico do Papel Tengujo	41
Figura-4.28: Gráfico da Tensão, Deformação e Modulo Elástico do Papel Sudare	42
Figura-4.29: Gráfico da Tensão, Deformação e Modulo Elástico do Papel Gampi	43
Figura-4.30: Gráfico da Tensão, Deformação e Modulo Elástico do Papel Okawara ...	44
Figura-4.31: Gráfico da Tensão, Deformação e Modulo Elástico do Papel Mulberry ...	45
Figura-5.32: Trajetórias totais das cores no Espaço de Cor L*a*b*, no plano a* b*.....	46
Figura-5.33: Trajetórias parciais das cores no Espaço de Cor L*a*b*, no plano a* b*.	47
Figura-5.34: Valores de L* em função do tempo de irradiação	47
Figura-5.35: Gráfico do ΔE^* e IDC em função do tempo para o Papel Branco	50
Figura-5.36: Gráfico do ΔE^* e IDC em função do tempo para o Papel Whatman	51
Figura-5.37: Gráfico do ΔE^* e IDC em função do tempo para o Papel Maruishi	51
Figura-5.38: Gráfico do ΔE^* e IDC em função do tempo para o Papel Tengujo	52
Figura-5.39: Gráfico do ΔE^* e IDC em função do tempo para o Papel Sudare	52
Figura-5.40: Gráfico do ΔE^* e IDC em função do tempo para o Papel Gampi	53
Figura-5.41: Gráfico do ΔE^* e IDC em função do tempo para o Papel Okawara	53
Figura-5.42: Gráfico do ΔE^* e IDC em função do tempo para o Papel Mulberry	54
Figura-6.44: Gráfico do Fator de Qualidade Mecânica versus ΔE^*_f	62
Figura-D.69: Gráfico das curvas Força x Deformação Papel Branco	75
Figura-D.70: Gráfico das curvas Força x Deformação Papel Whatman	75
Figura-D.71: Gráfico das curvas Força x Deformação Papel Tengujo	76
Figura-D.72: Gráfico das curvas Força x Deformação Papel Sudare	76

Lista das Figuras

	Página
Figura-D.73: Gráfico das curvas Força x Deformação Papel Gampi	77
Figura-D.74: Gráfico das curvas Força x Deformação Papel Okawara	77
Figura-D.75: Gráfico das curvas Força x Deformação Papel Mulberry	78
Figura-E.76: Fotografia da amostra do Papel Branco não irradiado	79
Figura-E.77: Fotografia da amostra do Papel Branco com 168 horas	79
Figura-E.78: Fotografia da amostra do Papel Branco com 336 horas	80
Figura-E.79: Fotografia da amostra do Papel Branco com 504 horas	80
Figura-E.80: Fotografia da amostra do Papel Branco com 672 horas	80
Figura-E.81: Fotografia da amostra do Papel Whatman não irradiado	81
Figura-E.82: Fotografia da amostra do Papel Whatman com 183 horas	81
Figura-E.83: Fotografia da amostra do Papel Whatman com 351 horas	81
Figura-E.84: Fotografia da amostra do Papel Whatman com 519 horas	82
Figura-E.85: Fotografia da amostra do Papel Whatman com 687 horas	82
Figura-E.86: Fotografia da amostra do Papel não irradiado	83
Figura-E.87: Fotografia da amostra do Papel Maruishi com 168 horas	83
Figura-E.88: Fotografia da amostra do Papel Maruishi com 338 horas	83
Figura-E.89: Fotografia da amostra do Papel Maruishi com 508 horas	84
Figura-E.90: Fotografia da amostra do Papel Maruishi com 672 horas	84
Figura-E.91: Fotografia da amostra do Papel Tengujo não irradiado	85
Figura-E.92: Fotografia da amostra do Papel Tengujo com 168 horas	85
Figura-E.93: Fotografia da amostra do Papel Tengujo com 367 horas	85
Figura-E.94: Fotografia da amostra do Papel Tengujo com 537 horas	86
Figura-E.95: Fotografia da amostra do Papel Tengujo com 709 horas	86

Lista das Figuras

	Página
Figura-E.96: Fotografia da amostra do Papel Sudare não irradiado	87
Figura-E.97: Fotografia da amostra do Papel Sudare com 168 horas	87
Figura-E.98: Fotografia da amostra do Papel Sudare com 336 horas	87
Figura-E.99: Fotografia da amostra do Papel Sudare com 504 horas	88
Figura-E.100: Fotografia da amostra do Papel Sudare com 672 horas	88
Figura-E.101: Fotografia da amostra do Papel Gampi não irradiado	89
Figura-E.102: Fotografia da amostra do Papel Gampi com 168 horas	89
Figura-E.103: Fotografia da amostra do Papel Gampi com 336 horas	89
Figura-E.104: Fotografia da amostra do Papel Gampi com 504 horas	90
Figura-E.105: Fotografia da amostra do Papel Gampi com 672 horas	90
Figura-E.106 Fotografia da amostra do Papel Okawara não irradiado	91
Figura-E.107: Fotografia da amostra do Papel Okawara com 168 horas	91
Figura-E.108: Fotografia da amostra do Papel Okawara com 336 horas	91
Figura-E.109: Fotografia da amostra do Papel Okawara com 504 horas	92
Figura-E.110: Fotografia da amostra do Papel Okawara com 672 horas	92
Figura-E.111: Fotografia da amostra do Papel Mulberry não irradiado	93
Figura-E.112: Fotografia da amostra do Papel Mulberry com 168 horas	93
Figura-E.113: Fotografia da amostra do Papel Mulberry com 342 horas	93
Figura-E.114: Fotografia da amostra do Papel Mulberry com 510 horas	94
Figura-E.115: Fotografia da amostra do Papel Mulberry com 709 horas	94
Figura-F.116: Fotografia do Colorímetro CR-400 Minolta na sua embalagem	95
Figura-G.117: Fotografia da Máquina Universal de Ensaio, Modelo WDW 2E	96
Figura-G.118: Fotografia das garras, tipo 1 e 2, ilustrando a ruptura do papel	97

Tabela

	Página
Tabela-3.15: Os Papeis da pesquisa e suas respectivas gramaturas e espessuras.....	31
Tabela-3.16: Protocolo dos experimentos	32
Tabela-5.43: Quadro com a tabulação do FQ_M calculado e normalizado	59
Tabela-A.45: Valores médios de L^* , a^* e b^* , do Papel Branco - função do tempo	66
Tabela-A.46: Valores médios de L^* , a^* e b^* , do Papel Whatman - função do tempo ..	66
Tabela-A.47: Valores médios de L^* , a^* e b^* , do Papel Maruishi - função do tempo	66
Tabela-A.48: Valores médios de L^* , a^* e b^* , do Papel Tengujo - função do tempo	67
Tabela-A.49: Valores médios de L^* , a^* e b^* , do Papel Sudare - função do tempo	67
Tabela-A.50: Valores médios de L^* , a^* e b^* , do Papel Gampi - função do tempo	67
Tabela-A.51: Valores médios de L^* , a^* e b^* , do Papel Okawara - função do tempo	67
Tabela-A.52: Valores médios de L^* , a^* e b^* , do Papel Mulberry - função do tempo ...	68
Tabela-B.53: Valores médios de T_{Max} , δ_{Max} e E do Papel Branco - função do tempo ...	69
Tabela-B.54: Valores médios de T_{Max} , δ_{Max} e E do Papel Whatman - função do tempo	69
Tabela-B.55: Valores médios de T_{Max} , δ_{Max} e E do Papel Maruishi - função do tempo	69
Tabela-B.56: Valores médios de T_{Max} , δ_{Max} e E do Papel Tengujo - função do tempo .	70
Tabela-B.57: Valores médios de T_{Max} , δ_{Max} e E do Papel Sudare - função do tempo ...	70
Tabela-B.58: Valores médios de T_{Max} , δ_{Max} e E do Papel Gampi - função do tempo ...	70
Tabela-B.59: Valores médios de T_{Max} , δ_{Max} e E do Papel Okawara - função do tempo	71
Tabela-B.60: Valores médios de T_{Max} , δ_{Max} e E do Papel Mulberry - função do tempo	71
Tabela-C.61: Valores médios do ΔE^* e do IDC do Papel Branco - função do tempo ...	72
Tabela-C.62: Valores médios do ΔE^* e do IDC do Papel Whatman - função do tempo	72
Tabela-C.63: Valores médios do ΔE^* e do IDC do Papel Maruishi - função do tempo	72
Tabela-C.64: Valores médios do ΔE^* e do IDC do Papel Tengujo - função do tempo .	73

Tabela

	Página
Tabela-C.65: Valores médios do ΔE^* e do IDC do Papel Sudare - função do tempo ...	73
Tabela-C.66: Valores médios do ΔE^* e do IDC do Papel Gampi - função do tempo ...	73
Tabela-C.67: Valores médios do ΔE^* e do IDC do Papel Okawara - função do tempo	73
Tabela-C.68: Valores médios do ΔE^* e do IDC do Papel Mulberry - função do tempo	74

Lista de Abreviatura e Sigla

BIPM	Bureau International dês Poids et Mesures.
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage.
IBRAM	Instituto Brasileiro de Museus.
ICOM	International Commission of Museums.
IDC	Índice de Degradação da Cor
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.
IR	Infravermelho.
LED	Light-Emitting Diode.
LRC	The Lighting Research Center.
Q _M	Fator de Qualidade Mecânica.
SI	Sistema Internacional de Unidades.
UV	Ultravioleta.

Lista de Símbolos

Grandeza	Unidade	Símbolo
Ângulo	° (grau)	θ
Ângulo sólido	sr (esferorradiano)	Ω
Comprimento	m (metro)	r
Comprimento de onda	nm = nanômetro = 10^{-9} m	λ
Deformação	%	δ
Eficácia luminosa	lm/W	η
Fluxo luminoso	lm (lúmen)	Φ_v
Fluxo radiante	W (watt)	Φ
Iluminância	lm/m ²	E_v
Intensidade de radiação	W/sr	I
Intensidade luminosa	cd (candela)	I_v
Irradiância	W/m ²	E
Irradiância espectral	W/m ² nm	E_λ
Luminância	lm/m ² /sr ou cd/m ²	L_v
Módulo Young	MPa	E
Radiância	W/m ² /sr	L
Tensão	N/ m ²	T

Sumário

	Página
Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	19
1 – O Problema	21
Capítulo 2 – O QUE É A COR?	22
2.1 – Percepção das Cores	22
2.2 – Padrões da CIE	24
2.3 – Espaço de Cores	24
Capítulo 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 – Irradiador	28
3.2 – Papel	31
3.3 – Protocolo dos Experimentos	32
3.4 – Colorímetro	33
3.5 – Medidor de Tração Mecânica	33
Capítulo 4 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS	34
4.1 – Representação Espacial de Colorimetria - CIELAB	34
4.2 – Representação Gráfica de Tração Mecânica	38
Capítulo 5 – DISCUSSÃO	46
5.1 – Colorimetria	46
5.1.1 – Discussão Qualitativa	46
5.1.2 – Discussão Quantitativa	49
5.2 – Tração Mecânica	57
5.2.1 – Discussão Qualitativa	57
5.2.2 – Discussão Quantitativa	58
Capítulo 6 – CONCLUSÕES	60

REFERÊNCIAS	64
APÊNDICE	66
A – Tabelas de Colorimetria	66
B – Tabelas de Tração Mecânica	69
C – Tabela dos Índices ΔE^* e IDC	72
D – Gráfico: Força x Deformação	75
E – Imagem Fotográfica	79
F – Colorímetro	95
G – Equipamento Medidor de Tração Mecânica	96

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

Os acervos museais e afins são constituídos de uma larga gama de objetos que foram criados com uma extensa diversidade de materiais. A exposição e/ou guarda destes objetos requerem cuidados especiais objetivando mitigar a degradação através de técnicas que propiciem o maior nível de conservação possível. Estes cuidados dependem dos tipos de materiais dos objetos, das técnicas utilizadas em suas confecções, da forma de exposição e de muitos outros aspectos. Verificam-se em muitos museus, bibliotecas e arquivos, que boa parte do acervo é constituída de documentos em papel, embora haja muitos outros documentos que têm como suporte para a escrita ou desenho, o couro, o tecido ou outros materiais.

Sendo o papel um dos materiais mais antigos, produzidos pelo homem. É um material essencialmente constituído de celulose, água, materiais orgânicos e inorgânicos. Em geral, tanto o papel produzido no passado, como o papel moderno, são constituídos basicamente de celulose. O papel sofre degradação com a ação do tempo (envelhecimento) via diferentes agentes com diferentes origens. As principais alterações dos materiais a base de celulose são induzidas pela fotodegradação, hidrólise ácida, oxidação, e biodegradação. Uma vez que esses fenômenos estão relacionados uns aos outros, uma análise completa do material "celulose" é bastante complexa. A oxidação da celulose pode ser provocada por uma grande variedade de agentes oxidantes. O oxigênio molecular pode oxidar a celulose, a taxa de ataque é fortemente acelerada em condições alcalinas e altas temperaturas. Todas as formas de ataque oxidativo resultam em uma modificação da estrutura da celulose, um encurtamento das cadeias, e um enfraquecimento das fibras. Já é bem sabido que os materiais celulósicos são danificados pelas exposições prolongadas a luz. A exposição à radiação com alta energia na faixa ultravioleta (fotólise) produz a cisão das ligações químicas nas cadeias da celulose. As consequências são visíveis em algum grau de descoloração, plasticidade ou resistência mecânica. Contudo, quando ocorre a percepção destas mudanças, o processo de degradação pode já estar em estado avançado e a perda pode ser até integral, caso o manuseio não seja realizado por um especialista.

É de grande interesse para a museologia e afins o estudo dos mecanismos de degradação do papel, a fim de alcançar uma compreensão mais adequada dos seus fenômenos, sendo o objetivo final melhorar os métodos existentes de conservação e restauro do patrimônio cultural que consistem de materiais a base de celulose.

O trabalho está dividido em 6 (seis) capítulos, no primeiro capítulo introduzimos e apresentamos as problemáticas de mudança na Cor e na Resistência Mecânica no Papel. No segundo capítulo se busca criar um embasamento no leitor que lhe propicie compreender o que é a Cor em termos quantitativos, padrões referenciais e como medi-la, possibilitando assim uma melhor compreensão da alteração da Cor. No terceiro capítulo descrevemos os papeis elegidos para a pesquisa bem como os equipamentos usados, em especial o irradiador de Ultravioleta que foi construído especialmente para essa pesquisa e a metodologia usada. O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos, no capítulo cinco discorremos e ponderamos sobre os dados obtidos e por fim o sexto capítulo aonde propomos uma maneira nova de qualificar os papeis.

As imagens deste trabalho são apenas ilustrativas devido às limitações técnicas da impressão, na versão digital foram feitas correções para uma maior fidelidade ilustrativa.

Ao final do trabalho foi acrescido um apêndice, a fim de facilitar a compreensão por parte dos leitores, com algumas definições e questões discutidas no texto.

1 – O Problema.

Os acervos dos Museus, Bibliotecas e Mapotecas dentre outros, que se constituem principalmente por celulose, sofrem degradação de algum tipo e são remetidos aos laboratórios de restauração a fim de serem restituídos, dentro da técnica mais atual, a sua condição original.

Normalmente as técnicas de diagnóstico para avaliação da degradação são comumente formas indiretas de avaliação e termos como o papel *amarelou* ou tornou-se *quebradiço*, é corriqueiramente usada e pouco esclarece a sua real situação em termos quantitativos.

Outro ponto importante é a ausência de informação sobre como o material usado pelos laboratórios de restauração, em especial os papéis Japonês¹, se comportam em termos de resistência a degradação ao longo do tempo.

A fim de contribuir com a resposta a estas questões realizou-se esta pesquisa, a qual é ancorada no campo de pesquisa intitulado de *h-Museometria*².

Embora existam alguns trabalhos com estudos da degradação do papel por luz UV, não existe uma quantificação do processo como função do tempo.

Assim apresenta-se o estudo da alteração da cor no Espaço de Cor $L^*a^*b^*$, bem como a mudança em uma das suas características mecânicas, a resistência à tração, em amostras que foram submetidos à irradiação por luz UV para catalisação do processo de degradação de maneira controlada e como função do tempo.

¹ Papel usado em vários tipos de situações: como enchimento do vazio (buraco) ou como ligante de rasgo, dentre outras situações laboratoriais.

² h-Museometria: Área de pesquisa que visa à análise de forma quantitativa dos eventos e acervos museais, bibliográficos e/ou afins, em questões que possam ser metrificadas pelo uso de técnicas, métodos, normas e procedimentos oriundos das Ciências Exatas, Ciência de Materiais, Engenharias, Ciência da Computação e Biologia, com o objetivo de melhorar os procedimentos de coleta, conservação e restauração de acervos museais e afins.

Capítulo 2 – O QUE É A COR?

A cor é para o ser humano o estímulo de sensores oftalmológicos pelos fótons das ondas eletromagnéticas.

2.1 – Percepção das Cores.

Como explicado em (Campos, 2013).

As ondas eletromagnéticas são fluxo de energia radiante. No vácuo, as ondas viajam a uma mesma velocidade, isto é o que se conhece como a constante universal chamada de velocidade da luz. Os campos elétrico e magnético, constituintes da onda, oscilam com frequência definida pela fonte que emitiu a onda eletromagnética. A partir do século XIX, os cientistas desenvolveram técnicas para medir os comprimentos de onda das ondas eletromagnéticas com elevada precisão e isto proporcionou a classificação de várias faixas de comprimento de onda. Por outro lado, quando há interação da radiação com a matéria, a radiação eletromagnética é tratada em termos de pacotes de energia denominados fótons. Estes pacotes de energia têm comportamento de partículas.

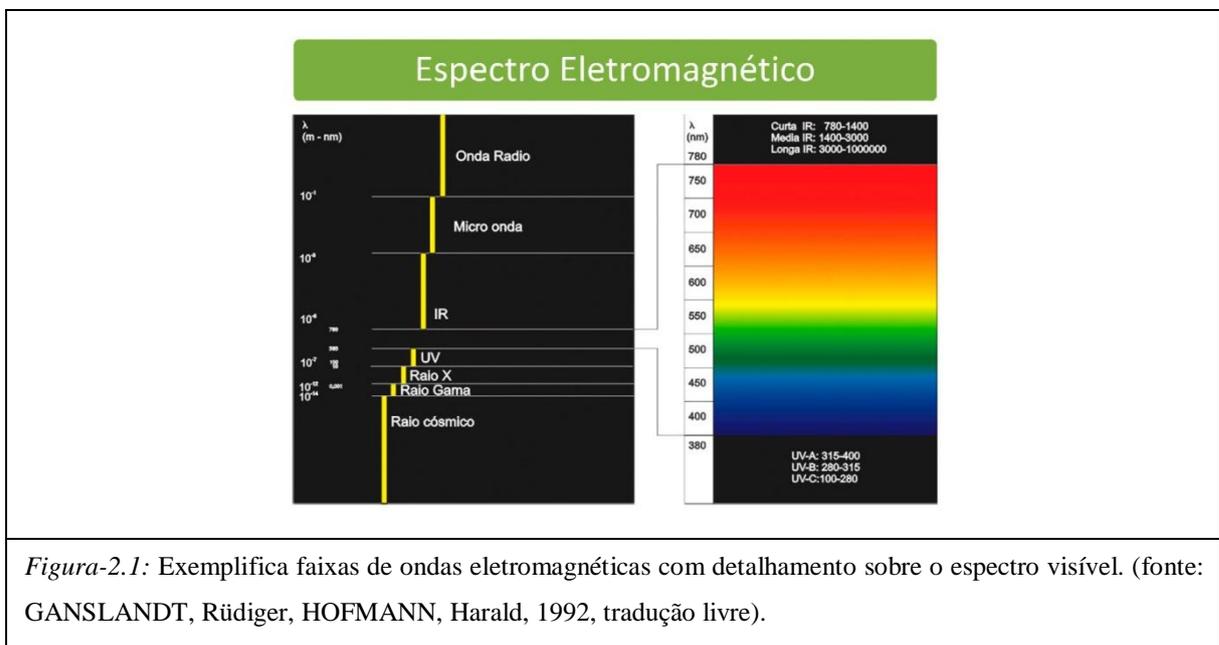
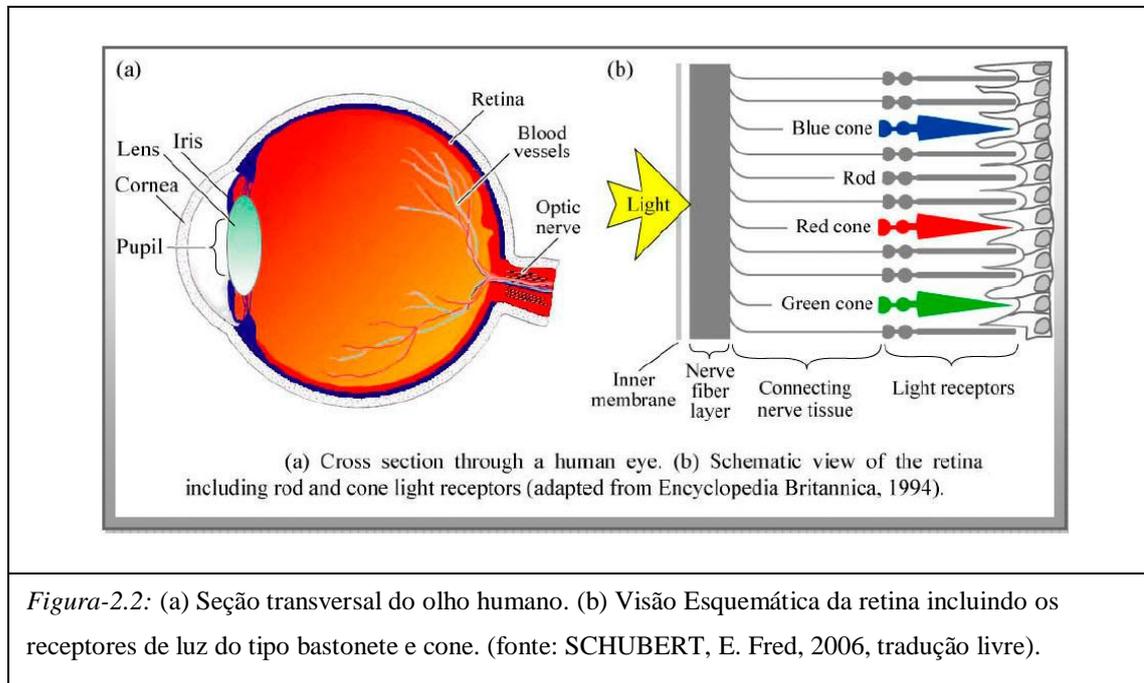


Figura-2.1: Exemplifica faixas de ondas eletromagnéticas com detalhamento sobre o espectro visível. (fonte: GANSLANDT, Rüdiger, HOFMANN, Harald, 1992, tradução livre).

Ainda em (Campos, 2013).

Chamamos de LUZ a faixa deste espectro de ondas que ao ser percebido pela retina, absorve a energia contida nestes fótons e estimula os fotorreceptores, bastonetes e cones, que provocam uma resposta sensorial no córtex visual do cérebro.



Esta propriedade da visão humana é o que distingue a luz de todos os outros tipos de radiação, sendo um espectro muito estreito de comprimento de onda, mais precisamente entre 380 nm e 780 nm. (Campos, 2013, pgs:16-17).

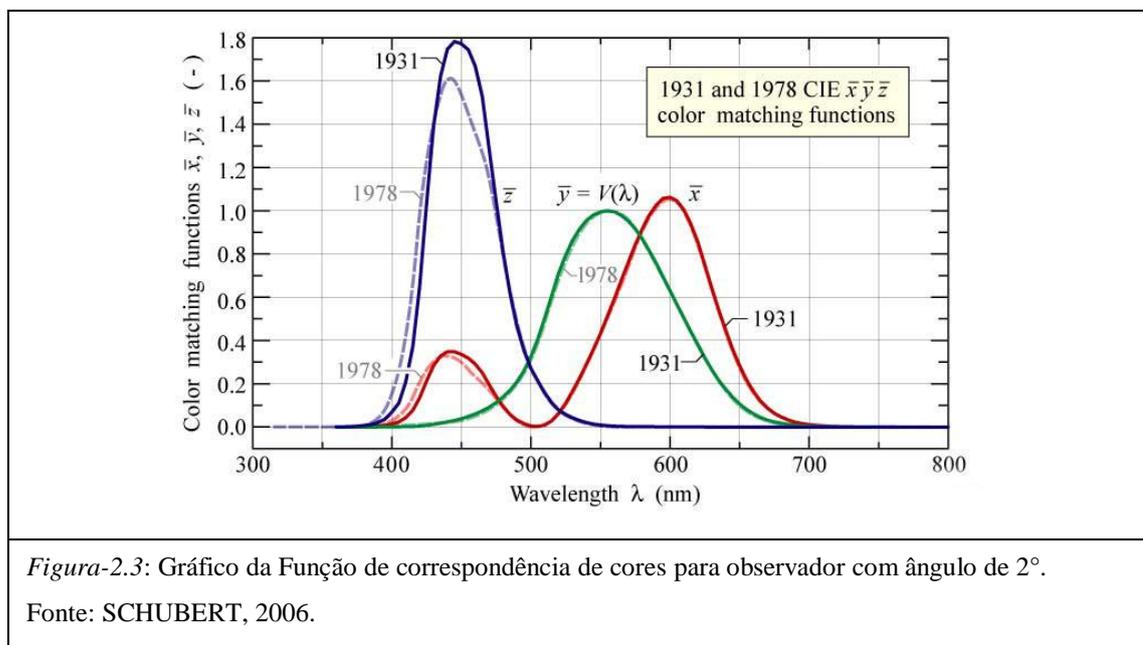
Assim, a cada comprimento de ondas eletromagnéticas da faixa do espectro entendida como Luz esta associada uma Cor.

2.2 – Padrões da CIE.

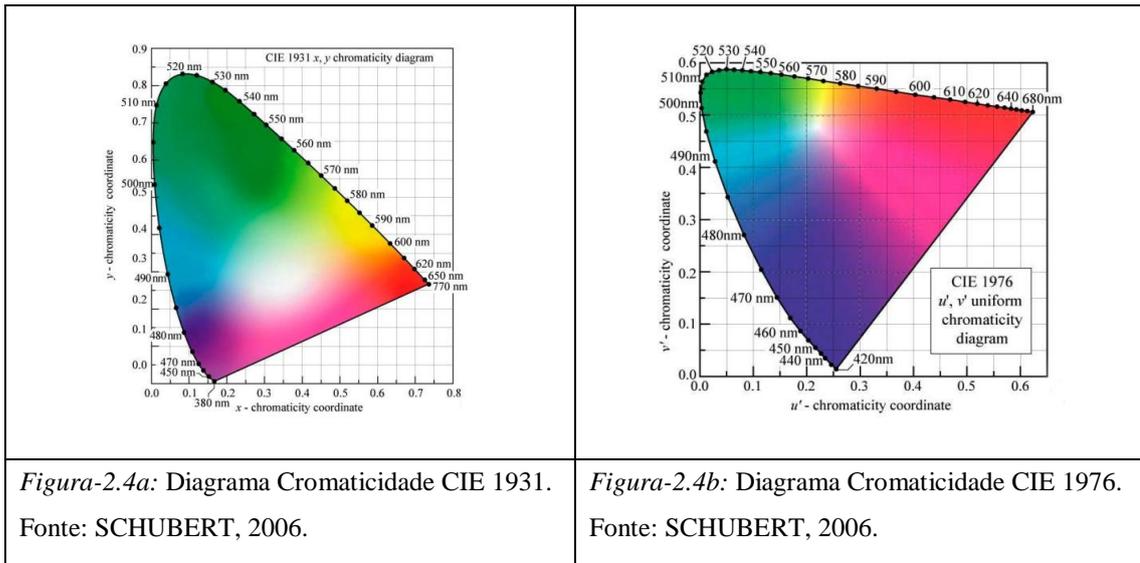
A medição das cores é normatizada por uma serie de padrões internacionais estabelecidos pela agencia reguladora intitulada: CIE - Commission Internationale de l'Eclairage [CIE, 2015].

2.3 – Espaço de Cores.

O estudo das cores é uma ciência que busca responder como os seres humanos percebem as cores, sua manipulação, e os diversos meios e suportes para exibi-las, e para tanto vários estudos foram feitos ao longo dos últimos 450 anos. A Figura-2.3 demonstra como o ser humano percebe as cores em termos de sensibilidade versus comprimento da onda eletromagnético que lhe da origem. Nela está plotada a norma padrão CIE de 1931, e a atualização de 1978.

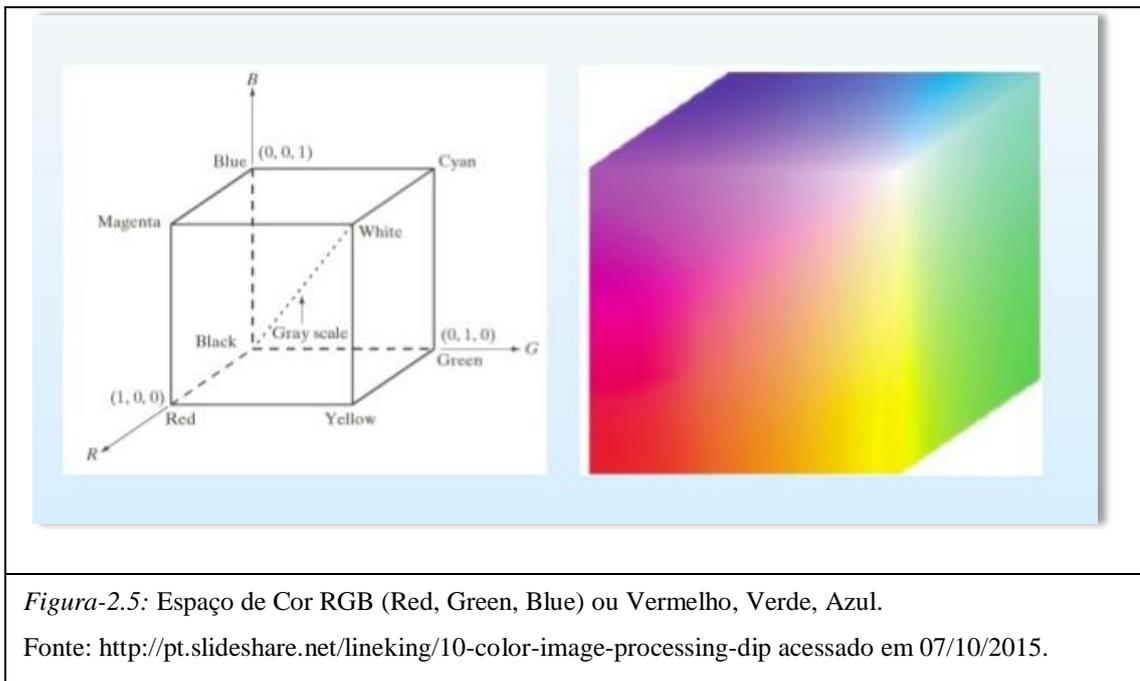


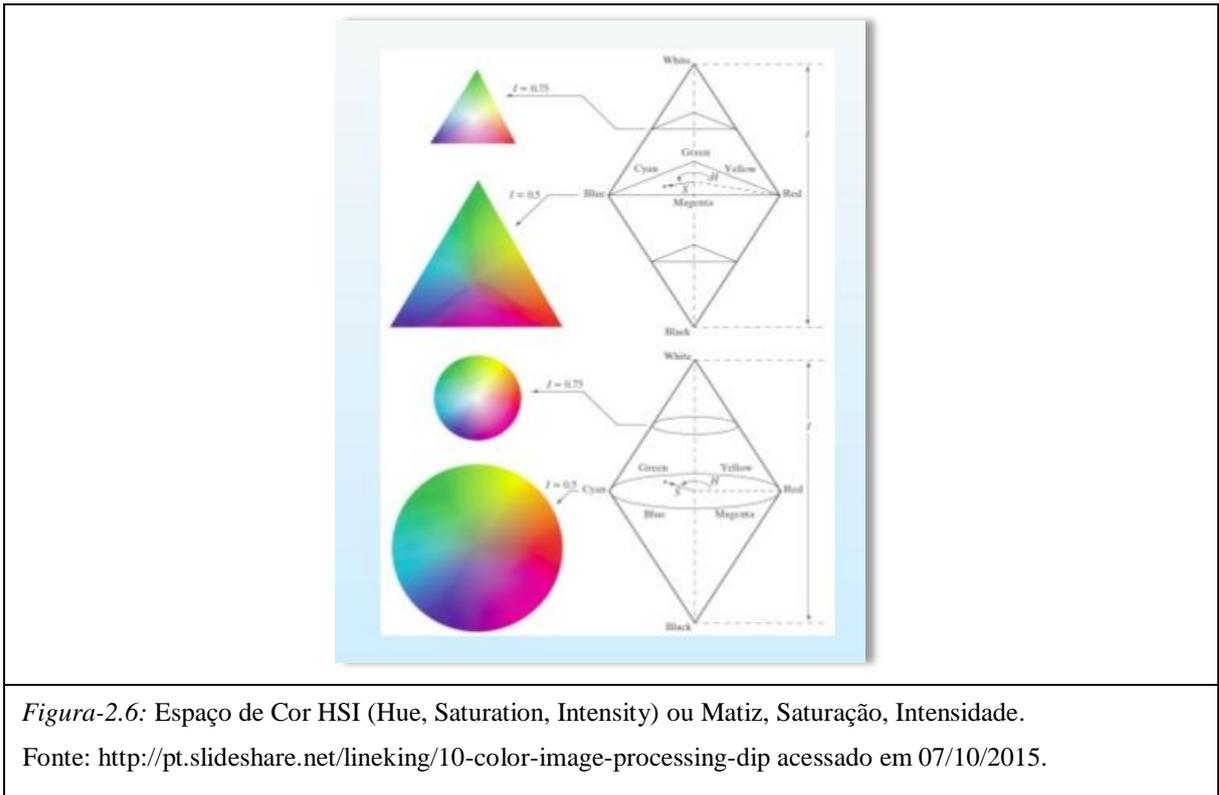
A distribuição no plano 2D dos valores quantitativa das cores a partir da função de correspondência da Figura-2.3, é definida como diagrama de cromaticidade, a Figura-2.4a e a Figura-2.4b, mostram o padrões CIE 1931 e 1976.



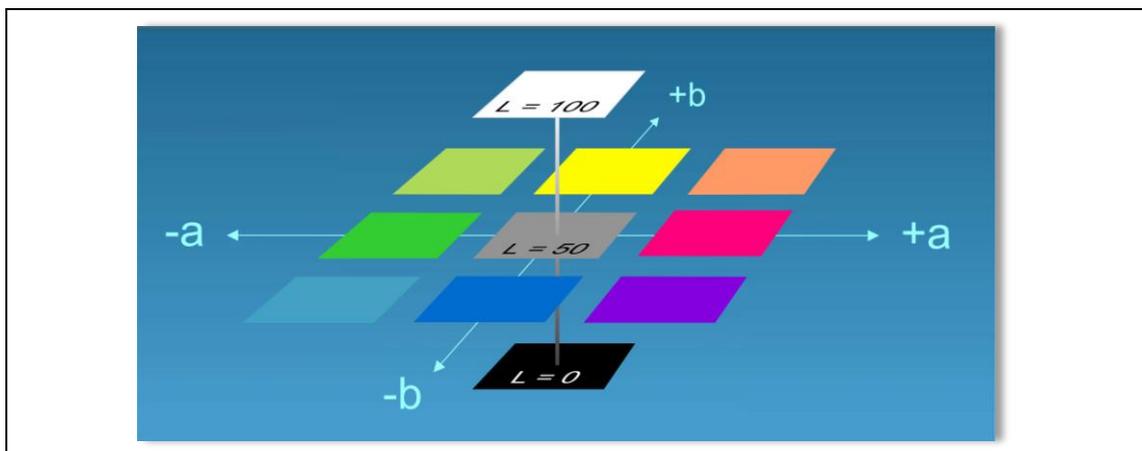
A distribuição espacial destes diagramas é conhecida como *Espaço de Cor*. Existem vários espaços de cores, cada um com seus prós e contras.

Alguns modelos de Espaço de Cor são apresentados a seguir, a Figura-2.5 ilustra o espaço de cor RGB e a Figura-2.6 o espaço de cor HSI.





O Espaço de Cor $L^*a^*b^*$ também conhecido como CIELAB é um dos mais usados e está ilustrado na Figura-2.7, sendo estabelecido a partir da CIE 1976.



Na Figura-2.7 as coordenadas L , a e b representam eixos de coordenadas. O eixo L representa a luminosidade³ variando do branco $L=100$ ao preto $L=0$, incluindo todos os tons cinza. Os eixos a e b são eixos de cores ou Matiz, o eixo a varia do vermelho (+a) até o verde (-a) e o eixo b do amarelo (+b) até o azul (-b). Os valores de a e b ao cruzarem o eixo L têm valor zero e representam a ausência de cor neste ponto, ou seja, é dessaturada. A escala de valores dos eixos de cores é arbitrária e no nosso estudo usamos os valores já configurados no colorímetro⁴. O espaço de cor $L^*a^*b^*$ também é conhecido como espaço das cores opostas, tem como objetivo principal representar a percepção visual da mudança da cor de maneira uniforme e proporcionalmente a variação do seu valor. Este foi o modelo escolhido como referência padrão da pesquisa.

³ Luminosidade significa o brilho de uma área, julgada em relação ao brilho de uma área semelhante e iluminada que é referenciada como branco.

⁴ Colorímetro: Instrumento para medição da cor de forma quantitativa e referenciada em padrões internacionais.

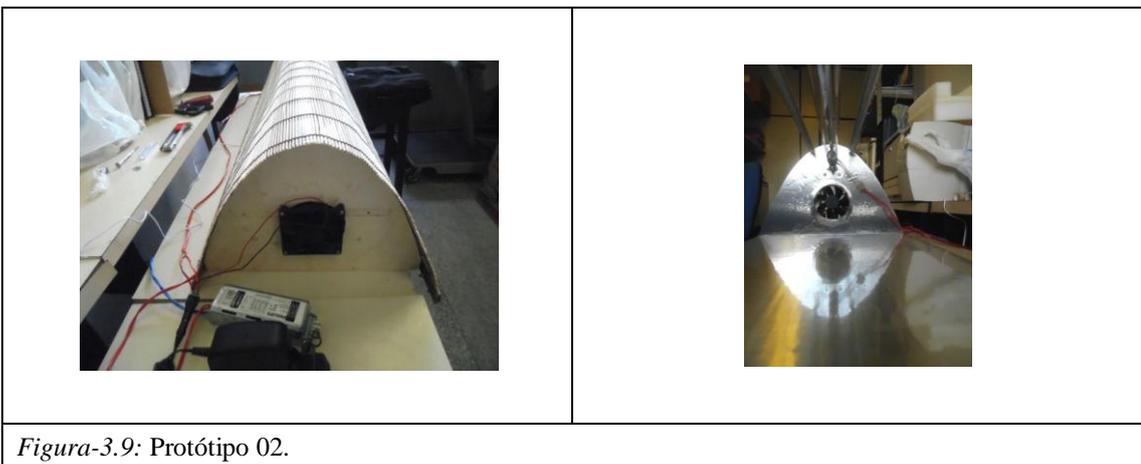
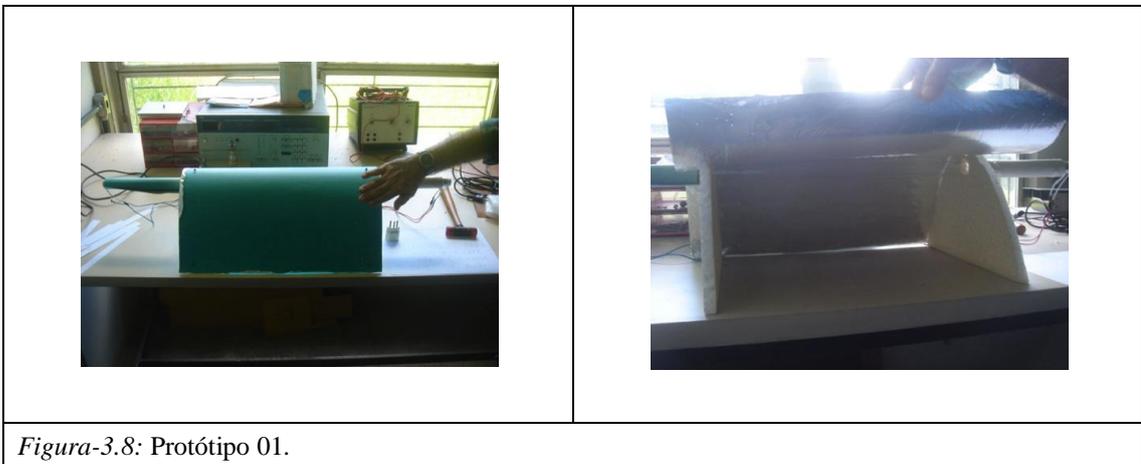
Capítulo 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos utilizados na pesquisa são descritos a seguir.

3.1 – Irradiador.

O agente de degradação escolhido foi a irradiação por onda eletromagnética na faixa do Ultra Violeta – UV. Tal escolha prendeu-se ao fato do fóton nesta frequência ser altamente energizado possibilitando uma catalisação no processo de fotólise. Em face da ausência de um equipamento adequado nos laboratórios da UFPE, tornou-se necessário a construção *in situ*, no estilo *handmade*. O processo de construção percorreu várias versões até que se alcançasse a versão que foi considerada adequada ao experimento.

Da Figura-3.8 até a Figura-3.12, se ilustram a seguir esse processo.



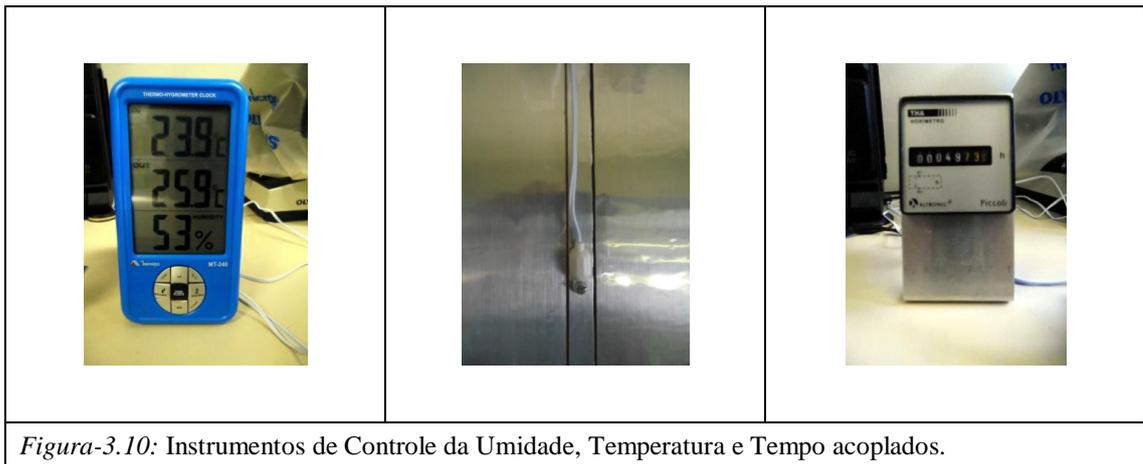


Figura-3.10: Instrumentos de Controle da Umidade, Temperatura e Tempo acoplados.

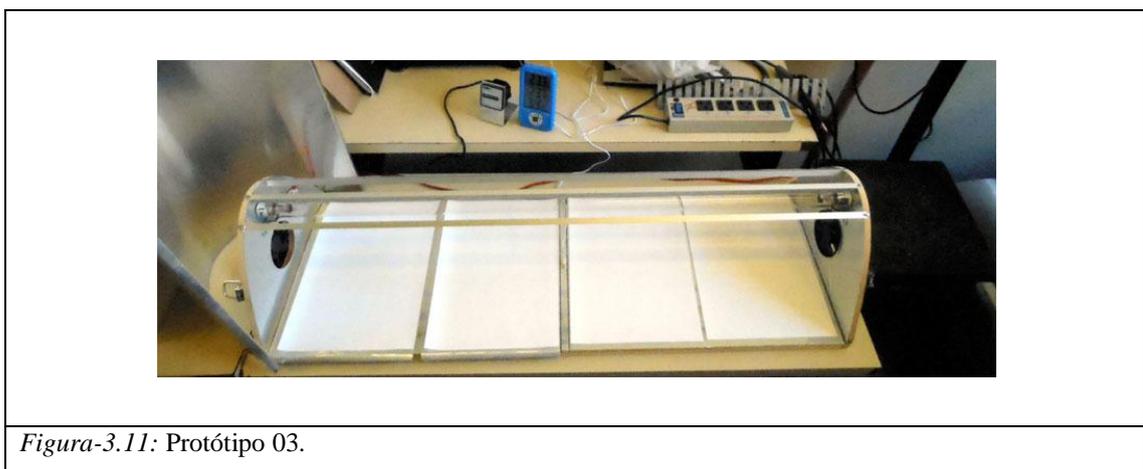


Figura-3.11: Protótipo 03.

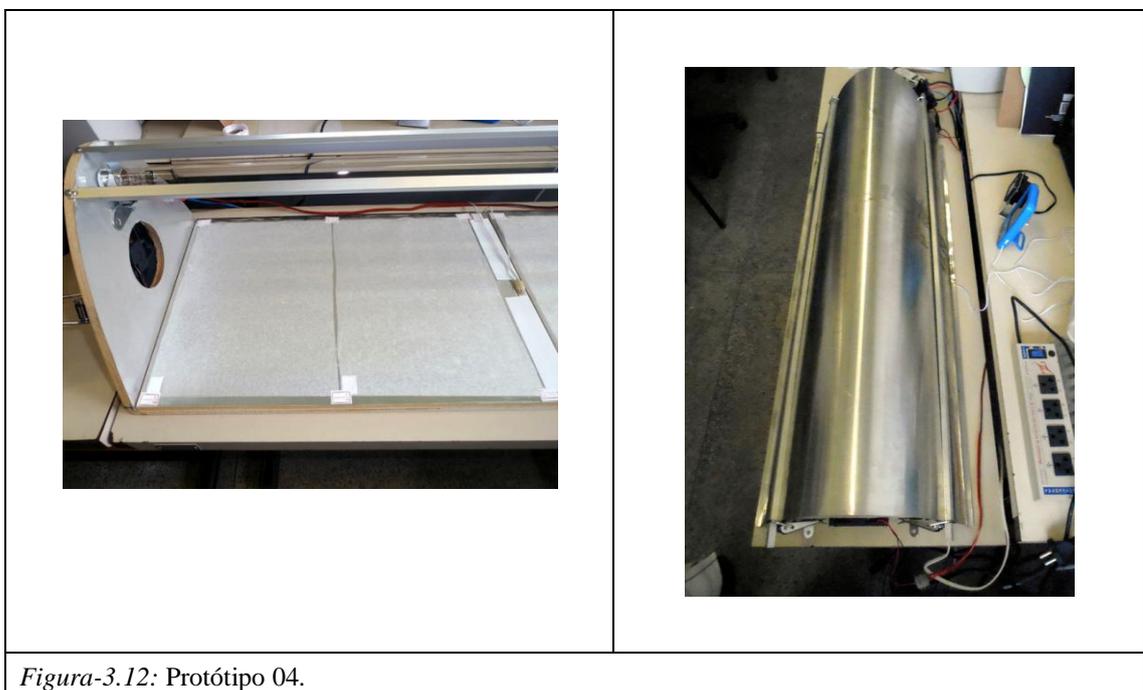


Figura-3.12: Protótipo 04.

A lâmpada produtora da irradiação UV é da marca Philips modelo *TUV 30W T8* ilustrada na Figura-3.13, esta lâmpada produz uma emissão UV Tipo-C concentrada em 253,7 nm com 12W de irradiação e 30W potencia elétrica, é uma lâmpada amplamente usada também como agente germicida.

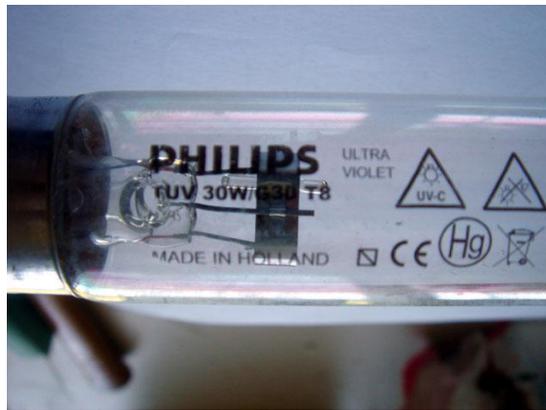


Figura-3.13: Lâmpada UV-C.

A lâmpada foi posicionada no foco da parábola confeccionada segundo a função matemática que se segue e as amostras de papel em $y = 20$, a unidade é o centímetro.

$$x^2 = 12,80y \rightarrow x^2 = 4ay \rightarrow x^2 = 4\left(\frac{12,80}{4}\right)y \rightarrow x^2 = 4(3,2)y \therefore \text{Foco}(0, 3,2)$$

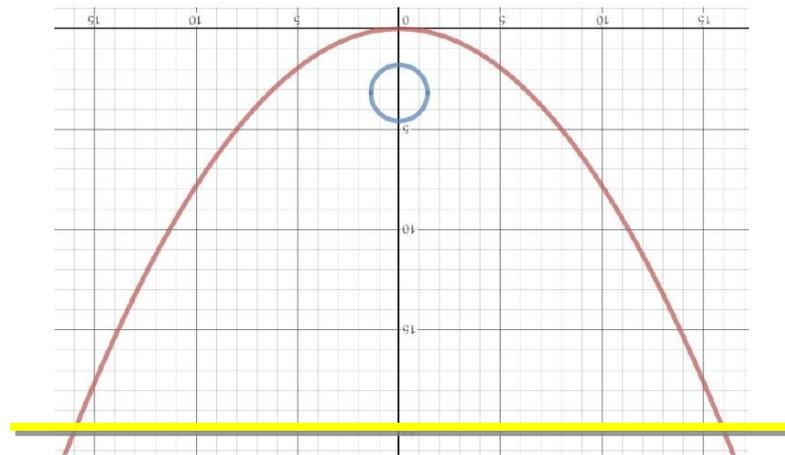


Figura-3.14: Representação gráfica da função $x^2 = 12,80y$, a linha amarela ilustra a posição da amostra do papel.

3.2 – Papel.

Como objeto de pesquisa, foram escolhidos 08 (oito) tipos de papeis, conforme Tabela-3.15. Os experimentos foram realizados em dois tamanhos de amostras (21 cm x 29,7 cm e 15 cm x 21 cm)

Papel Branco	75 g/m ²	0,10 mm
Whatman	68 g/m ²	0,15 mm
Maruishi	09 g/m ²	0,03 mm
Tengujo	11 g/m ²	0,05 mm
Sudare A304	17 g/m ²	0,08 mm
Gampi Student	30 g/m ²	0,09 mm
Okawara	40 g/m ²	0,11 mm
Mulberry	60 g/m ²	0,13 mm
<i>Tabela-3.15: Os Papeis da pesquisa e suas respectivas gramaturas e espessuras.</i>		

3.2.1 – Papel Branco.

A fim de corroborar com a criação da metodologia da pesquisa, foi escolhido um papel produzido industrialmente e caracterizado por ser possuidor de vários agentes que lhe transmitem características específicas como branqueamento, capacidade de retenção da tinta, dentre outras, o papel comum para impressora conhecido comercialmente como Papel COPIMAX 75.

3.2.2 – Papel Whatman.

Para ser um parâmetro de valores já estabelecido em pesquisa anterior, foi escolhido o Papel Whatman com 68 g/m².

3.2.3 – Papel Japonês.

O papel Japonês é amplamente usado nos mais diversos laboratórios de restauração e conservação de acervos museais e afins, porém a literatura conhecida não apresenta informação sobre o seu comportamento após o seu uso como agente restaurador. Optamos

assim, por tê-lo como objeto de estudo principal por entendermos que essa ausência de informação suscita uma insegurança ou dúvida quanto ao resultado final da aplicação do papel Japonês como agente restaurador ao longo do tempo.

A escolha dos tipos de papéis Japonês foi orientada por uma pesquisa junto a vários laboratórios de restauro, como o Laborarte da Fundação Joaquim Nabuco e em equipamentos culturais possuidores de setor de conservação como o Instituto Ricardo Brennand, ambos em Pernambuco, dentre outros, a fim de elencar os mais usados.

3.3 – Protocolo dos Experimentos.

A fim de obter amostras de papéis com níveis de degradações artificiais, controlados e adequados para serem usados como modelos de amostras, ciclos de envelhecimento acelerados foram planejados procurando reproduzir os processos de degradações naturais sofridos pelos papéis em ambientes museais e afins. As amostras foram submetidas a períodos de irradiação e irradiância que tiveram como meta inicial os valores descritos conforme a Tabela-3.16.

Tempo Projetado (h)	Irradiância – MJ/m ²
168	23,87
336	47,74
504	71,62
672	95,49
<i>Tabela-3.16: Protocolo dos experimentos</i>	

A umidade relativa, a temperatura e o tempo foram monitorados através de equipamentos acoplados ao Irradiador de UV, com valores variando de 51% à 89% e 22°C à 32°C, a variação prende-se a impossibilidade de garantir condições estáveis acarretadas por questões operacionais da UFPE. O uso do Horímetro para o controle do tempo permitiu o controle preciso do tempo de irradiação sofrido pelas amostras.

3.4 – Colorímetro.

A alteração da cor foi medida com o Colorímetro da marca Konica Minolta modelo CR-400 acoplado ao processador de dados DP-400 também da mesma marca e configurados para o iluminante D65⁵. Este instrumento permite a leitura em vários espaços de cor, sendo então possível a medição no espaço de cor CIELAB, adotado nesta pesquisa.

No Apêndice – F, é ilustrado o equipamento usado.

3.5 – Medidor de Tração Mecânica.

As medidas de resistência à tração nas amostras dos papéis foram realizadas no Laboratório de Engenharia Biomédica da UFPE.

A resistência à tração foi determinada em uma Máquina Universal de Ensaio (Modelo:WDW 2E) utilizando-se do software WinWdW.

O ensaio foi realizado utilizando uma força de carga de 0,4 KN, com velocidades variando de 2.0, 1.0 e 0.1 mm/min e dois tipos de garras, conforme a sensibilidade da amostra. Em face das características das amostras e limitações no equipamento não podemos fazer uso da norma ASTM D828-97, normalmente usada para tal fim.

Obs: Em face da inadequação das garras para as amostras, tiveram que ser projetados adaptadores a fim de minimizar esta incongruência.

No Apêndice – G, é ilustrado o equipamento usado.

⁵ Em 1963 a CIE recomenda o iluminante D65, ele apresenta uma temperatura correlata de cor de 6504K, sendo a representação media da luz do dia, no espectro visível e indo até o ultravioleta de 300nm para o hemisfério norte.

Capítulo 4 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo é apresentado os dados obtidos de forma tabular e a sua representação espacial no espaço de cor CIELAB.

4.1 – Representação Espacial de Colorimetria - CIELAB.

Da Figura-4.17 até a Figura-4.24 se apresentam a representação espacial no Espaço de Cor CIE $L^*a^*b^*$, das tabelas apresentadas no Apêndice A – Tabelas de Colorimetria.

O ponto inicial está indicado pela *Cor Verde*.

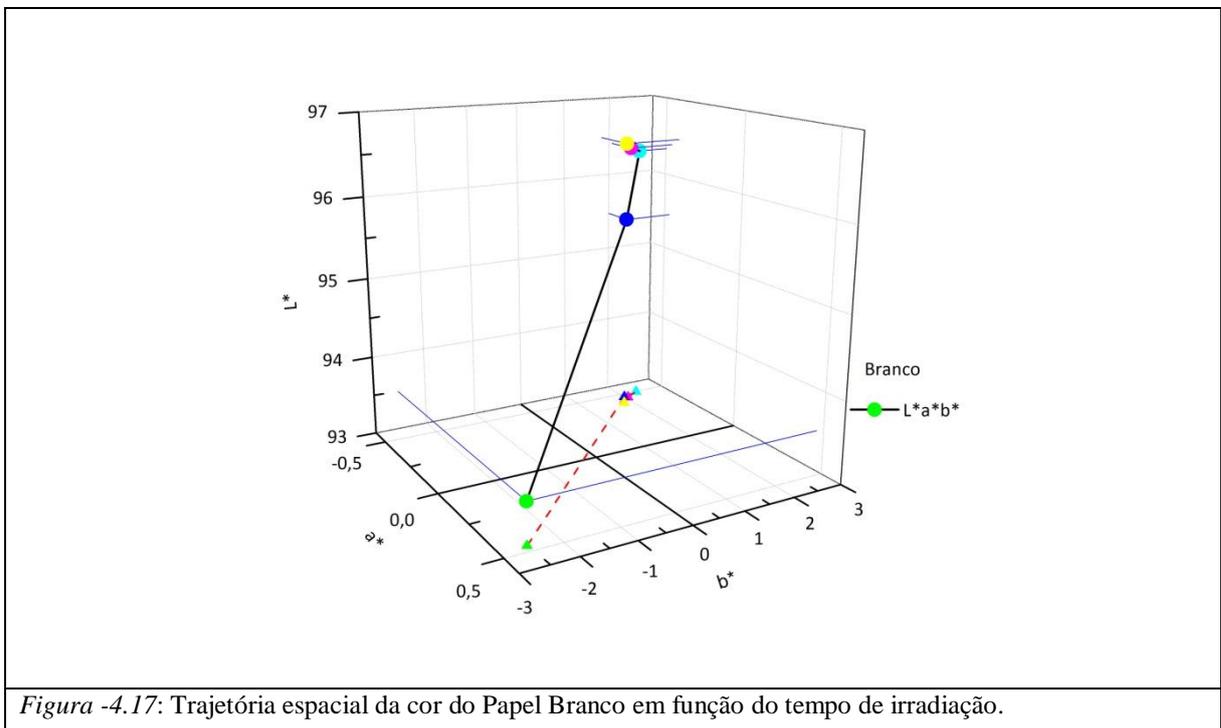


Figura -4.17: Trajetória espacial da cor do Papel Branco em função do tempo de irradiação.

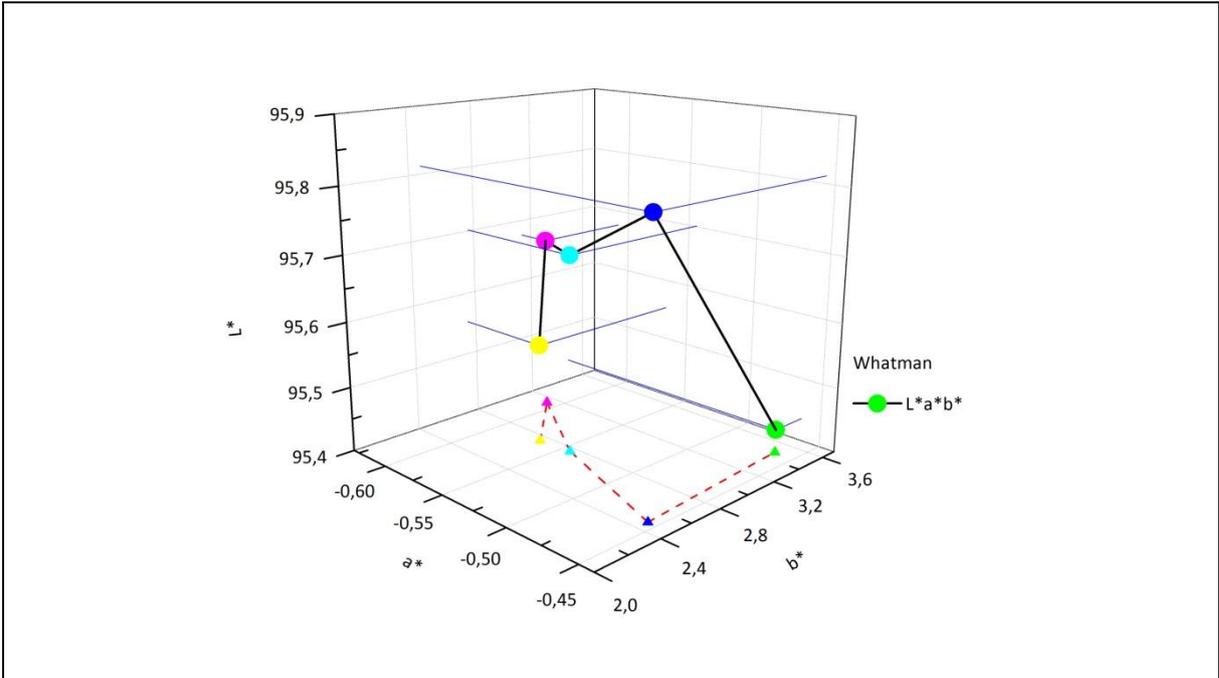


Figura -4.18: Trajetória espacial da cor do Papel Whatman em função do tempo de irradiação.

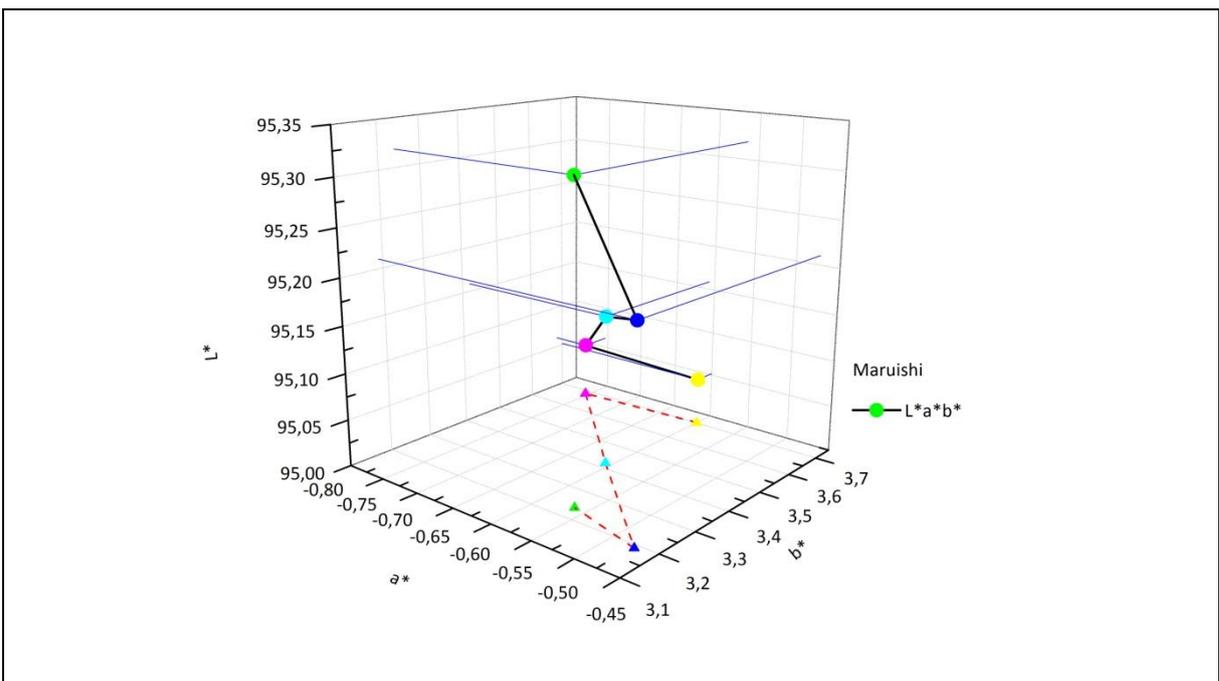


Figura -4.19: Trajetória espacial da cor do Papel Maruishi em função do tempo de irradiação.

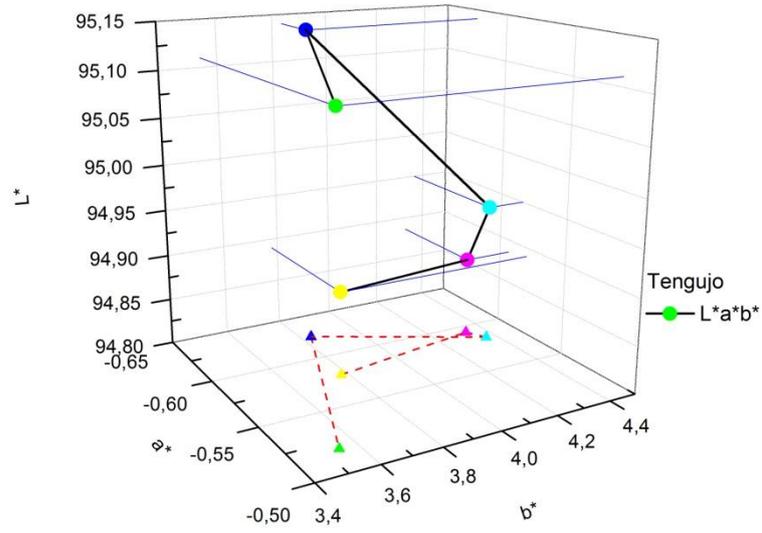


Figura -4.20: Trajetória espacial da cor do Papel Tengujo em função do tempo de irradiação.

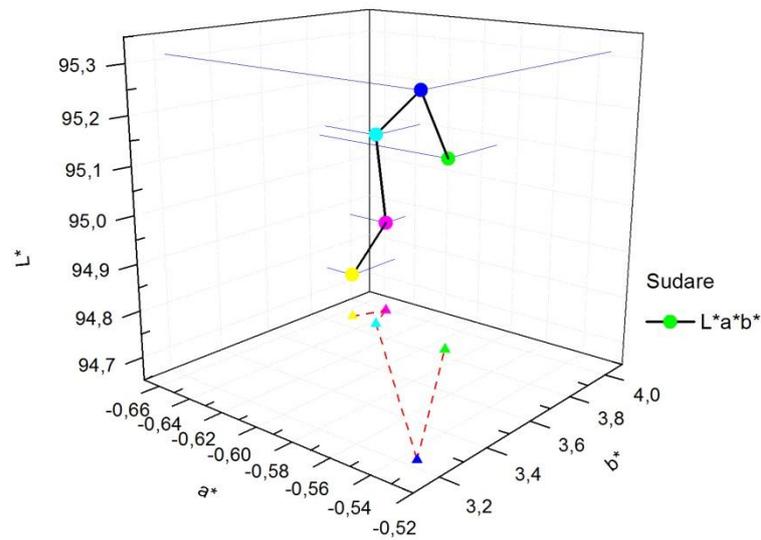
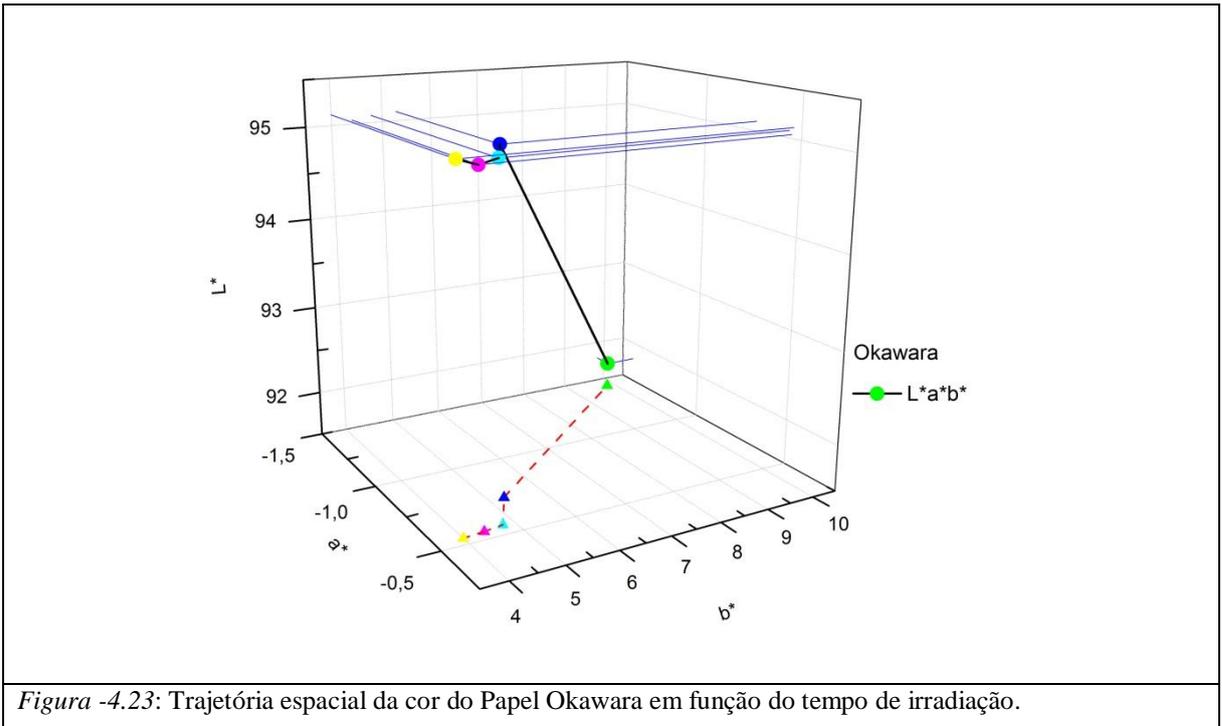
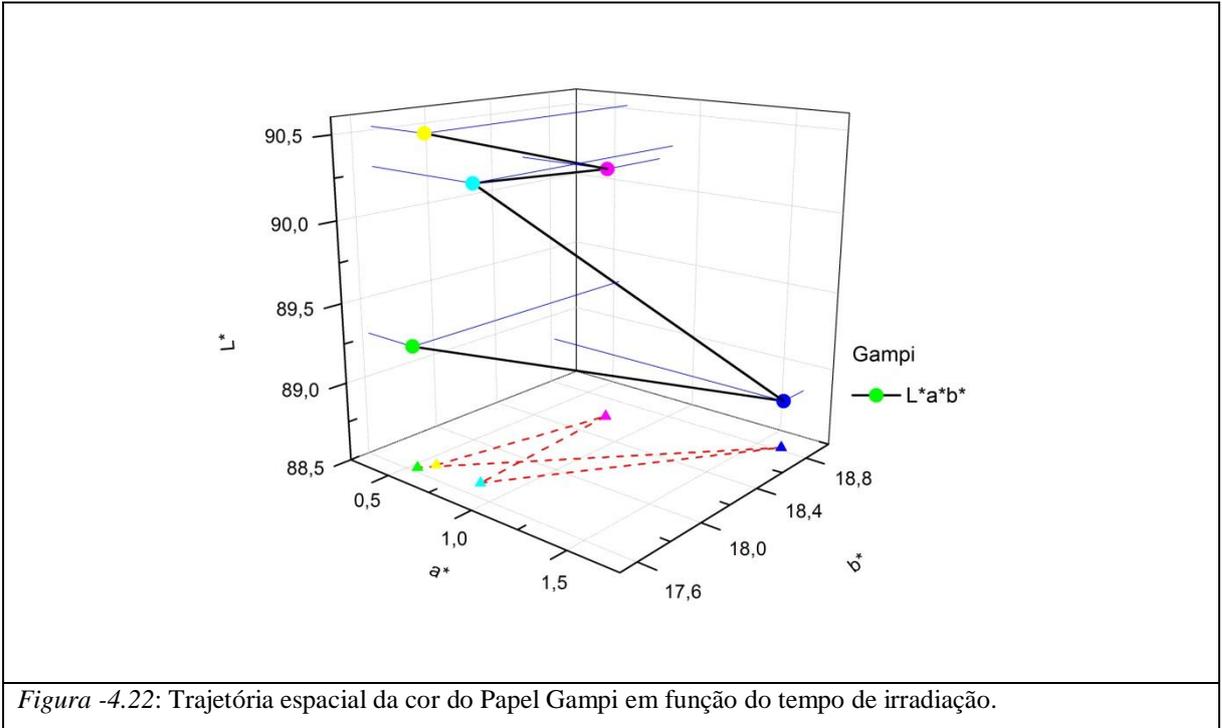


Figura -4.21: Trajetória espacial da cor do Papel Sudare em função do tempo de irradiação.



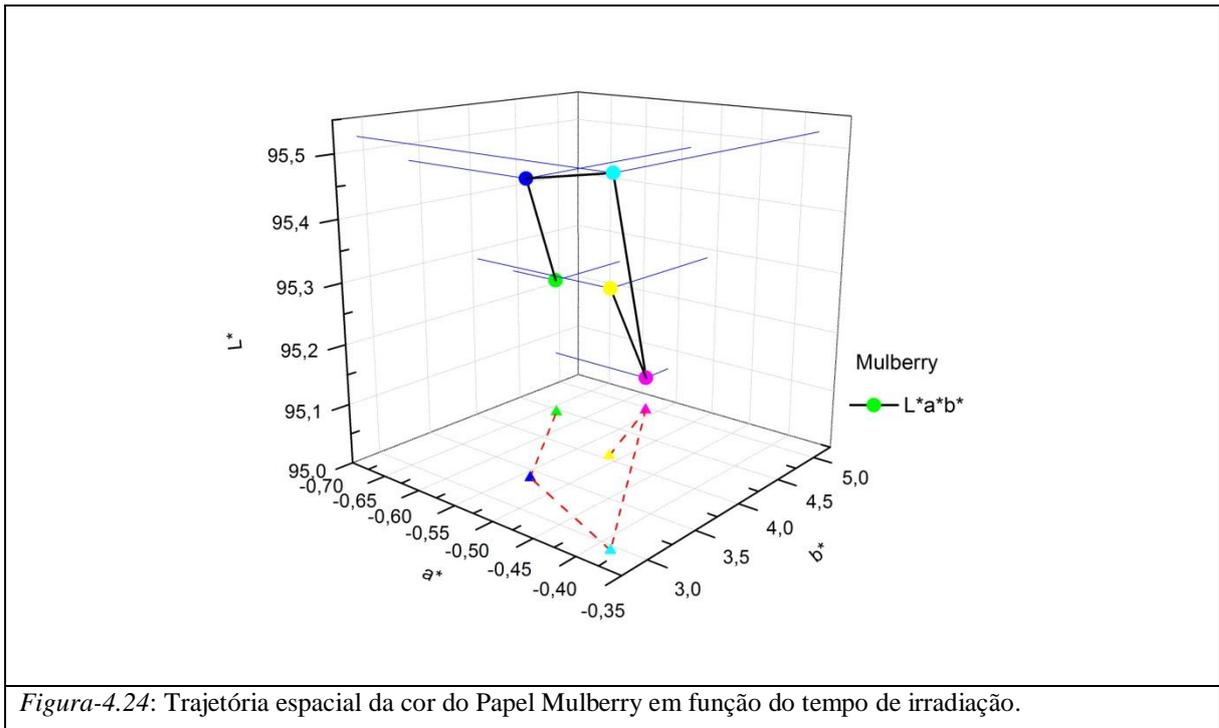


Figura-4.24: Trajetória espacial da cor do Papel Mulberry em função do tempo de irradiação.

4.2 – Representação Gráfica de Tração Mecânica.

Com os dados do Apêndice B – Tabelas de Tração Mecânica, obtemos os gráficos apresentados nas Figuras-4.25 à 4.31 onde podemos visualizar o efeito da irradiação em termos de Tensão de Ruptura (T_{Max}), Deformação Máxima (δ_{Max}) e Módulo de Young ou Elástico (E), como função do tempo para cada tipo de papel.

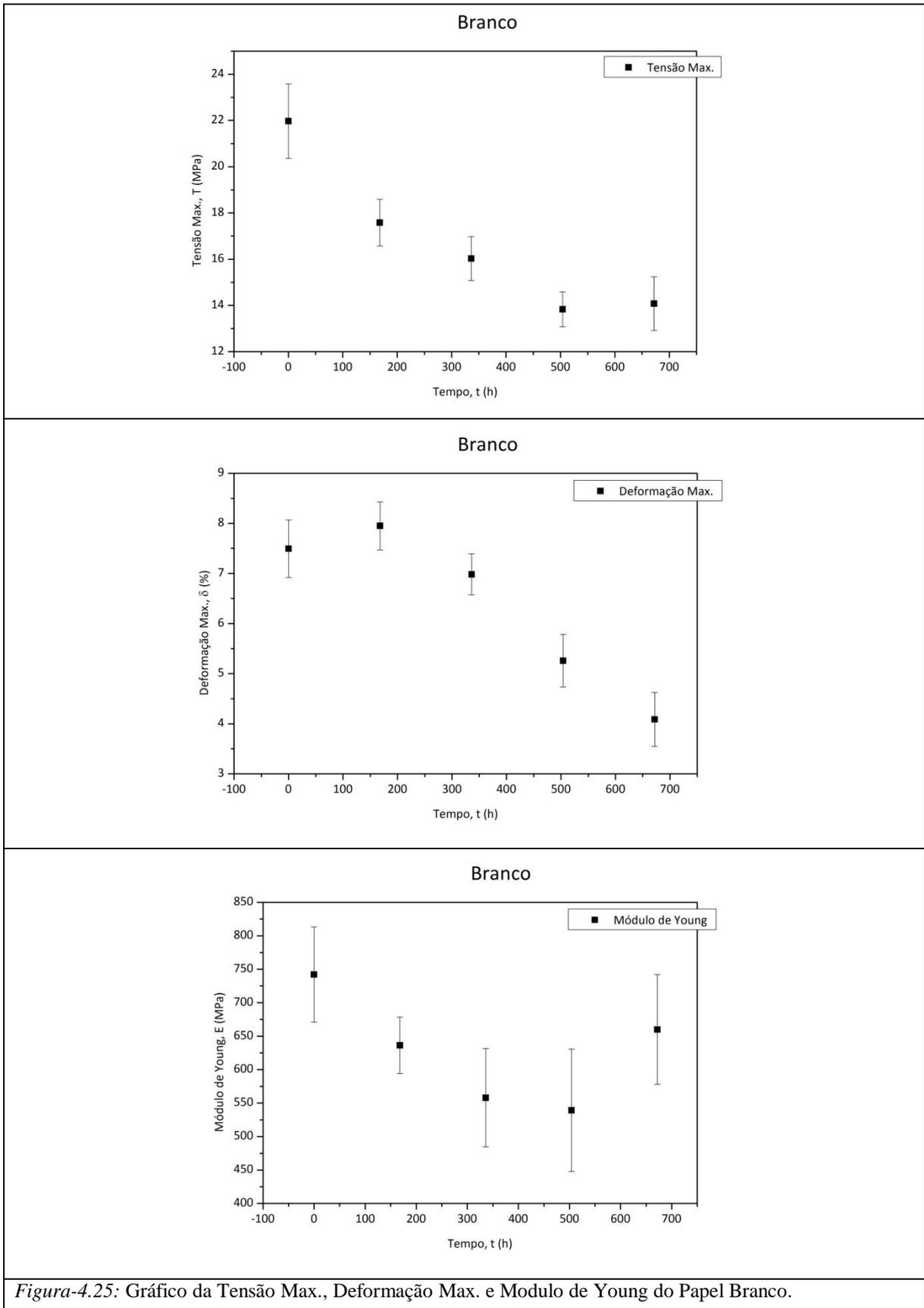


Figura-4.25: Gráfico da Tensão Max., Deformação Max. e Modulo de Young do Papel Branco.

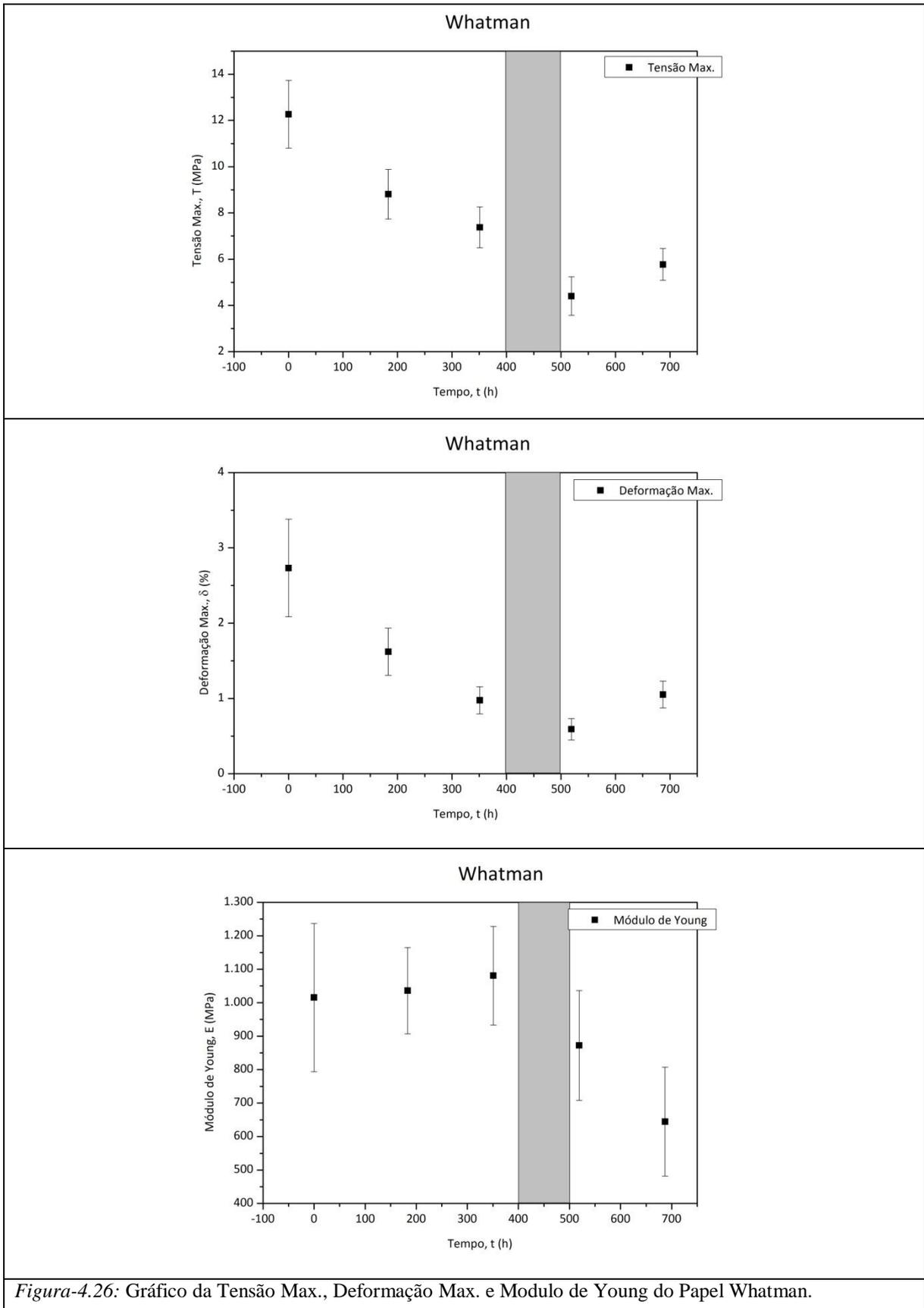


Figura-4.26: Gráfico da Tensão Max., Deformação Max. e Modulo de Young do Papel Whatman.

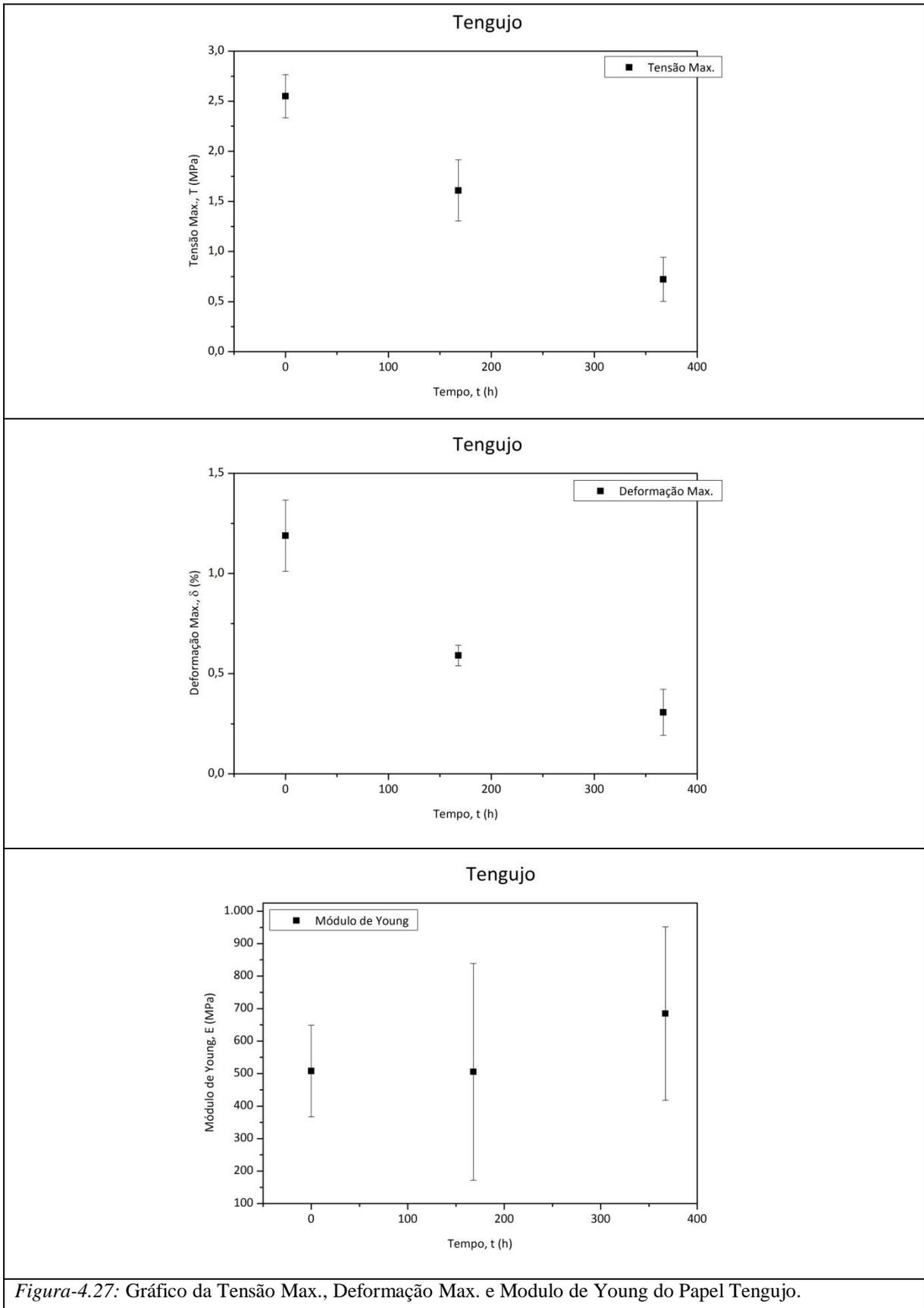


Figura-4.27: Gráfico da Tensão Max., Deformação Max. e Modulo de Young do Papel Tengujo.

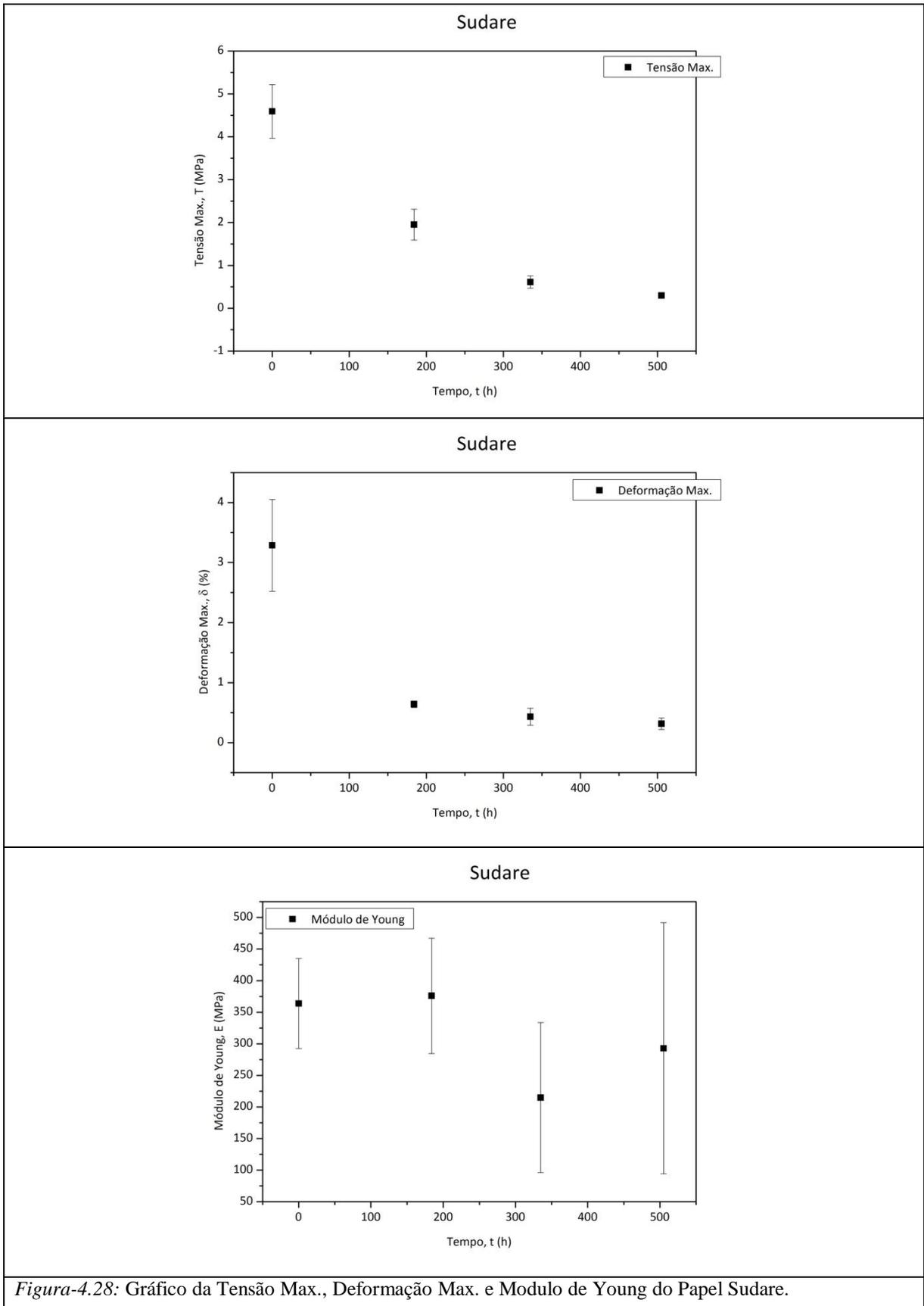


Figura-4.28: Gráfico da Tensão Max., Deformação Max. e Modulo de Young do Papel Sudare.

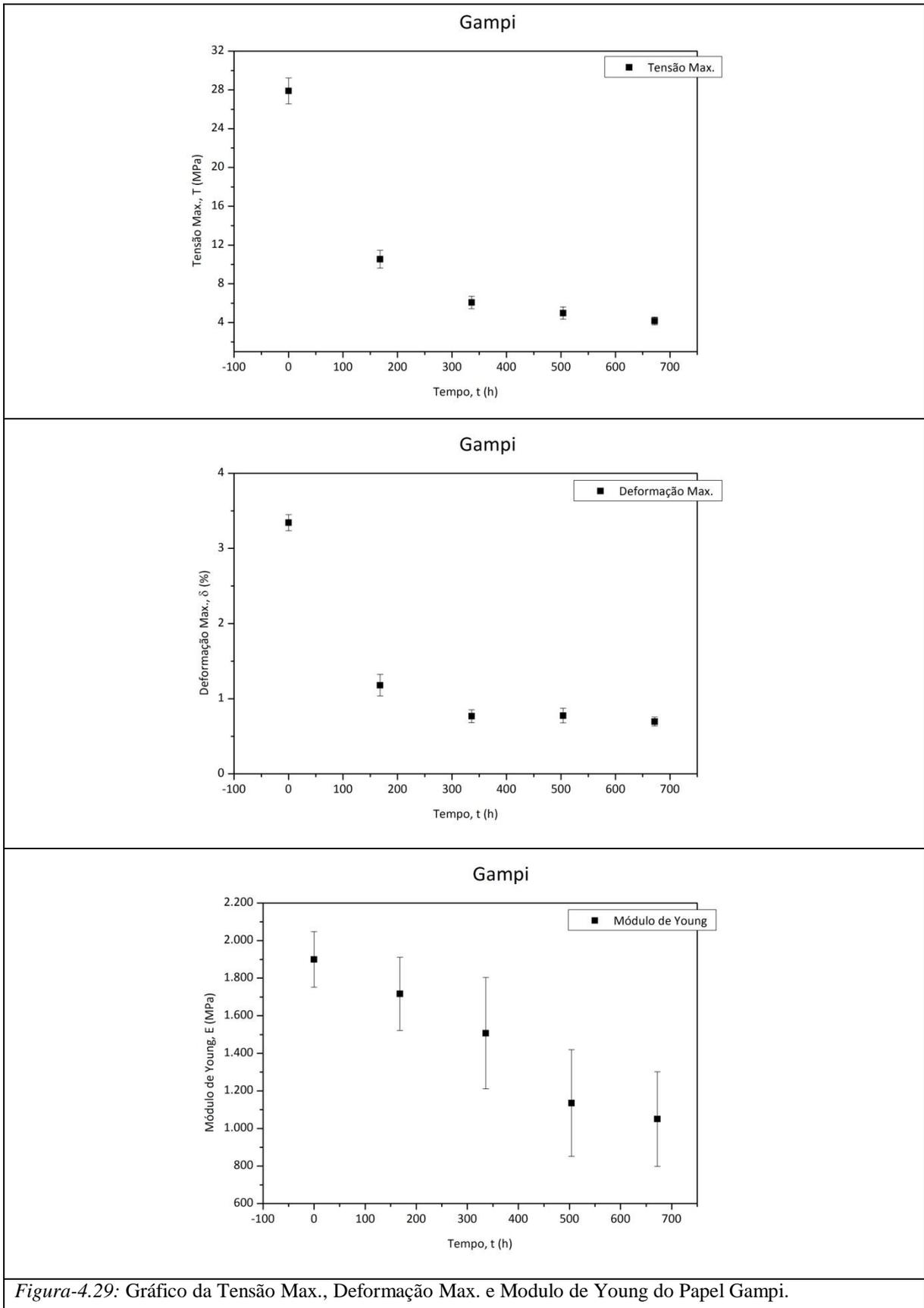


Figura-4.29: Gráfico da Tensão Max., Deformação Max. e Modulo de Young do Papel Gampi.

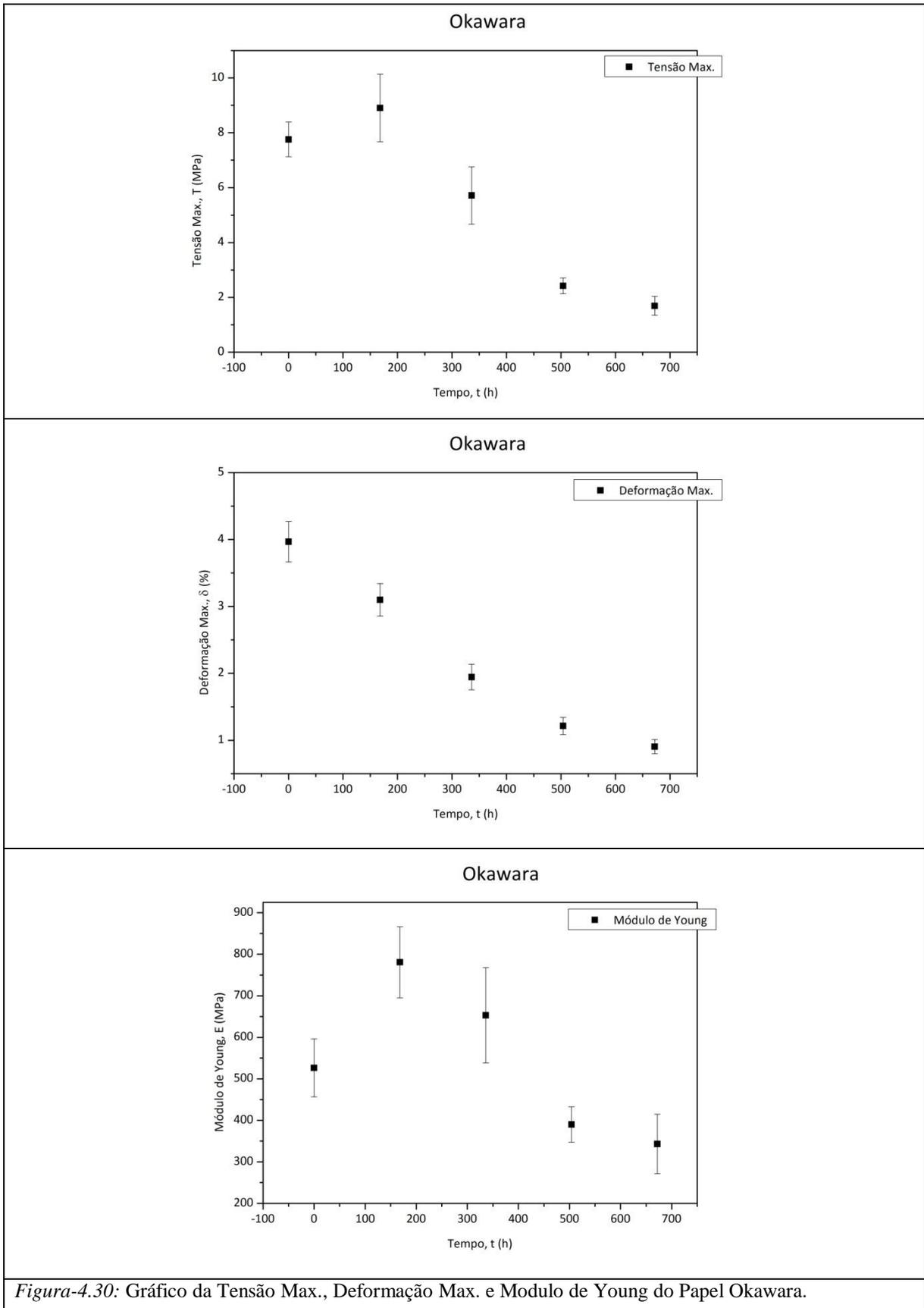


Figura-4.30: Gráfico da Tensão Max., Deformação Max. e Modulo de Young do Papel Okawara.

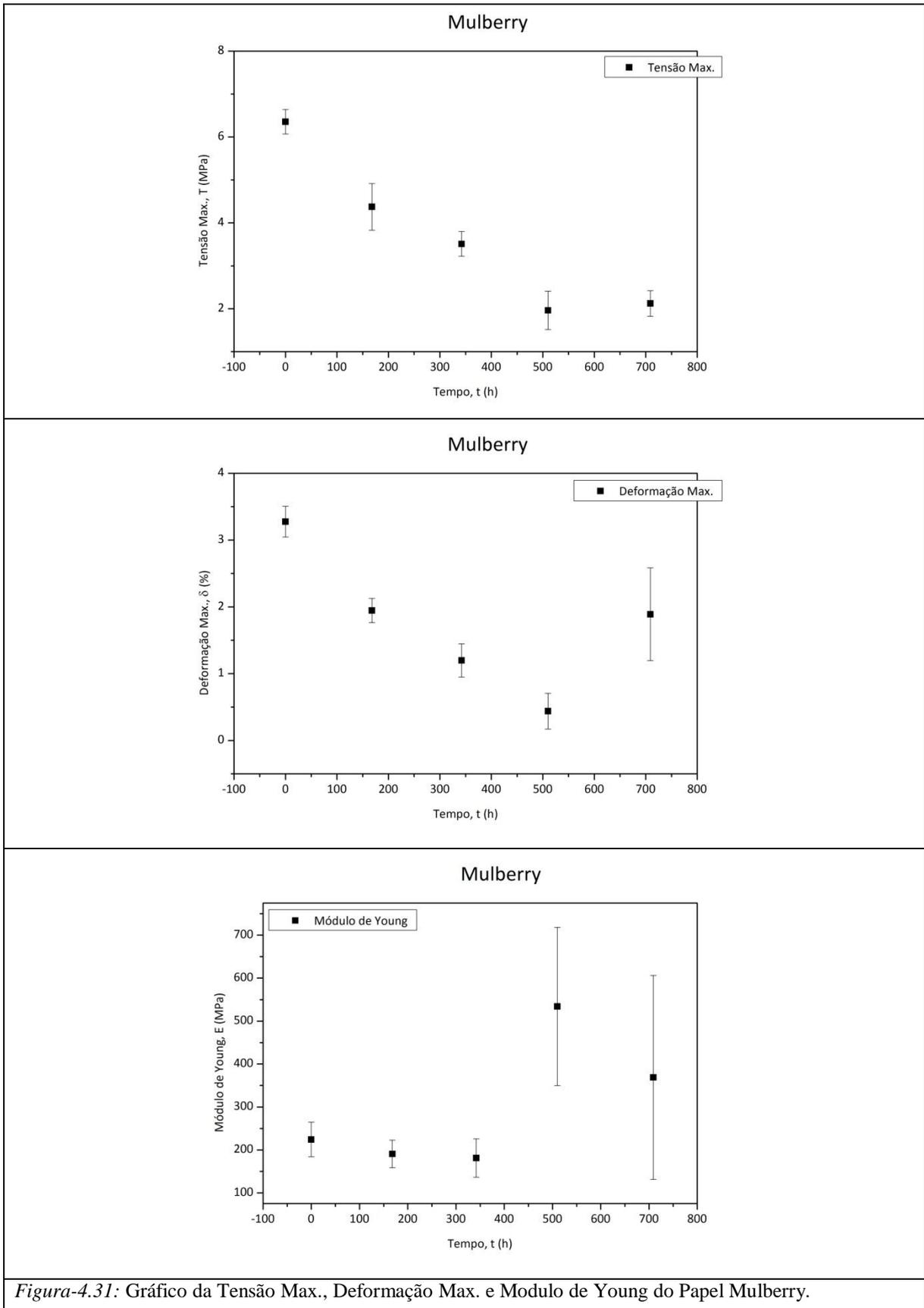


Figura-4.31: Gráfico da Tensão Max., Deformação Max. e Modulo de Young do Papel Mulberry.

Capítulo 5 – DISCUSSÃO

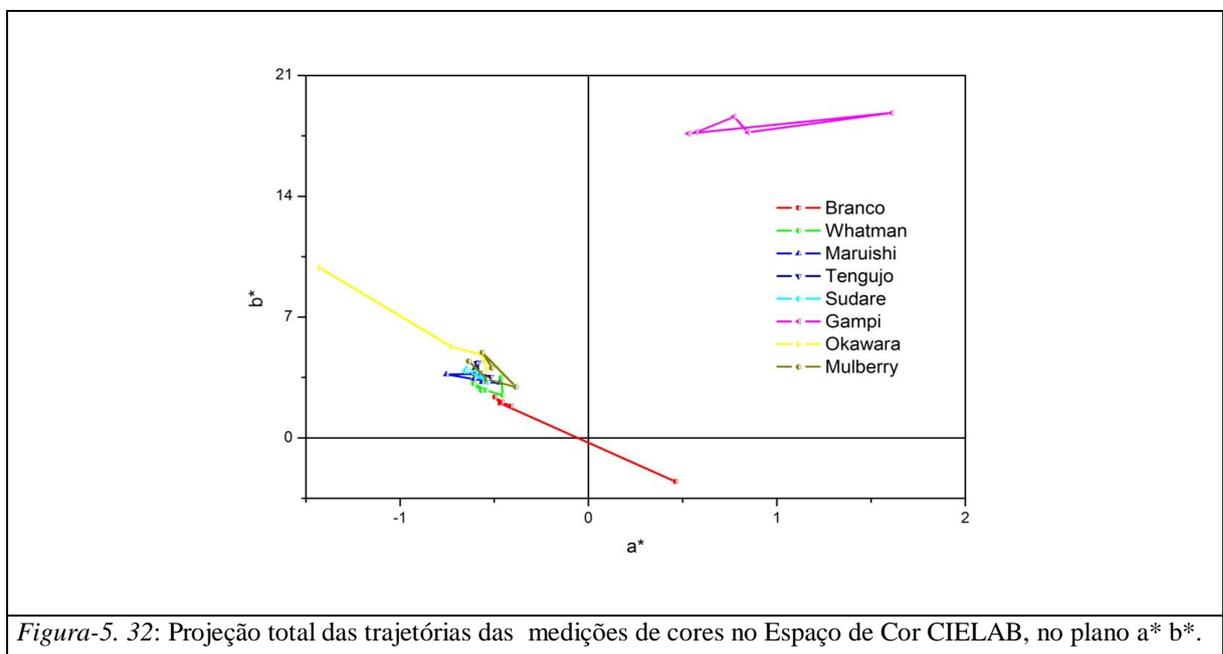
Os resultados apresentados anteriormente no capítulo 4 são discutidos a seguir.

5.1 – Colorimetria.

5.1.1 – Discussão Qualitativa.

Nesta discussão, devemos lembrar que o papel que denominamos de Branco, é um papel produzido segundo métodos modernos nos quais a adição de lignina é usada para conferir resistência mecânica e a adição de alvejantes, para reverter o processo de escurecimento, provocado pela adição da lignina. Por outro lado, o papel Japonês é produzido via métodos tradicionais que procuram obter resistência mecânica através da produção, seleção e entrelaçamento de fibras longas de celulose e conseqüentemente não há a necessidade de um conteúdo de lignina em nível similar ao do papel branco. Já o papel Whatman que tem como aplicação principalmente o uso como filtro quantitativo, é constituído basicamente de celulose sem a necessidade de possuir resistência mecânica similar ao papel branco ou japonês.

A fim de dar suporte as nossas considerações apresentamos a seguir a Figura-5.32, Figura-5.33 e Figura-5.34.



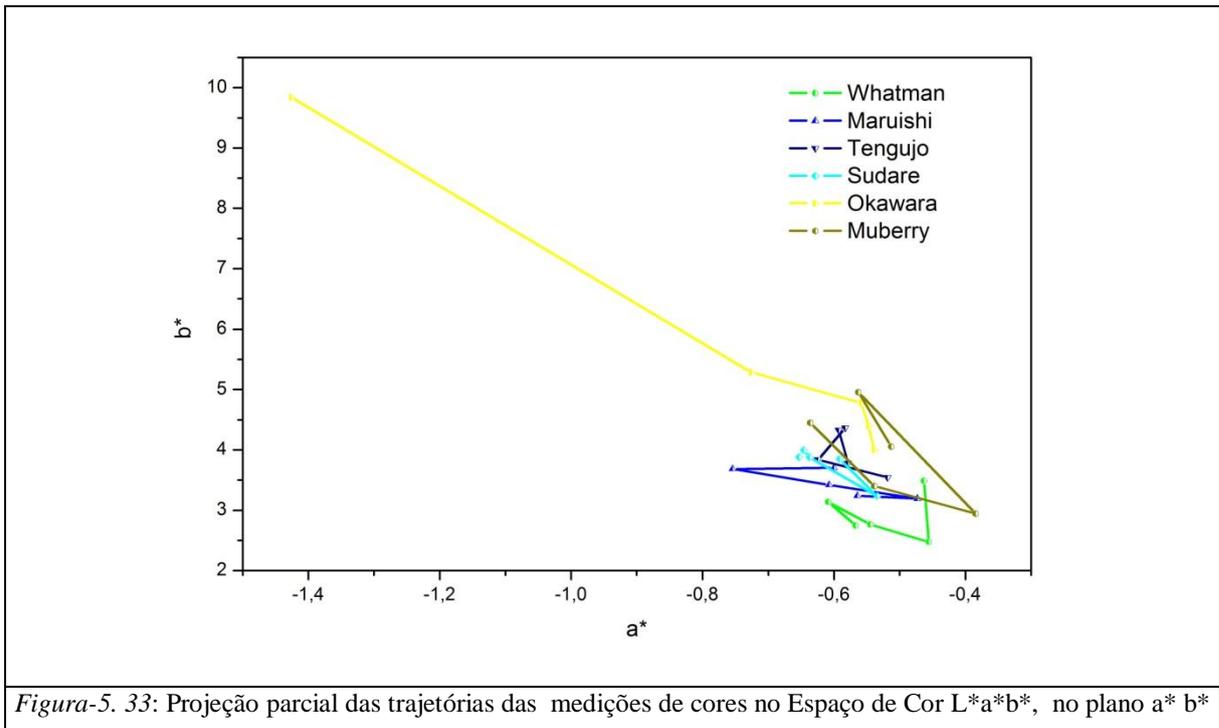


Figura-5.33: Projeção parcial das trajetórias das medições de cores no Espaço de Cor $L^*a^*b^*$, no plano $a^* b^*$

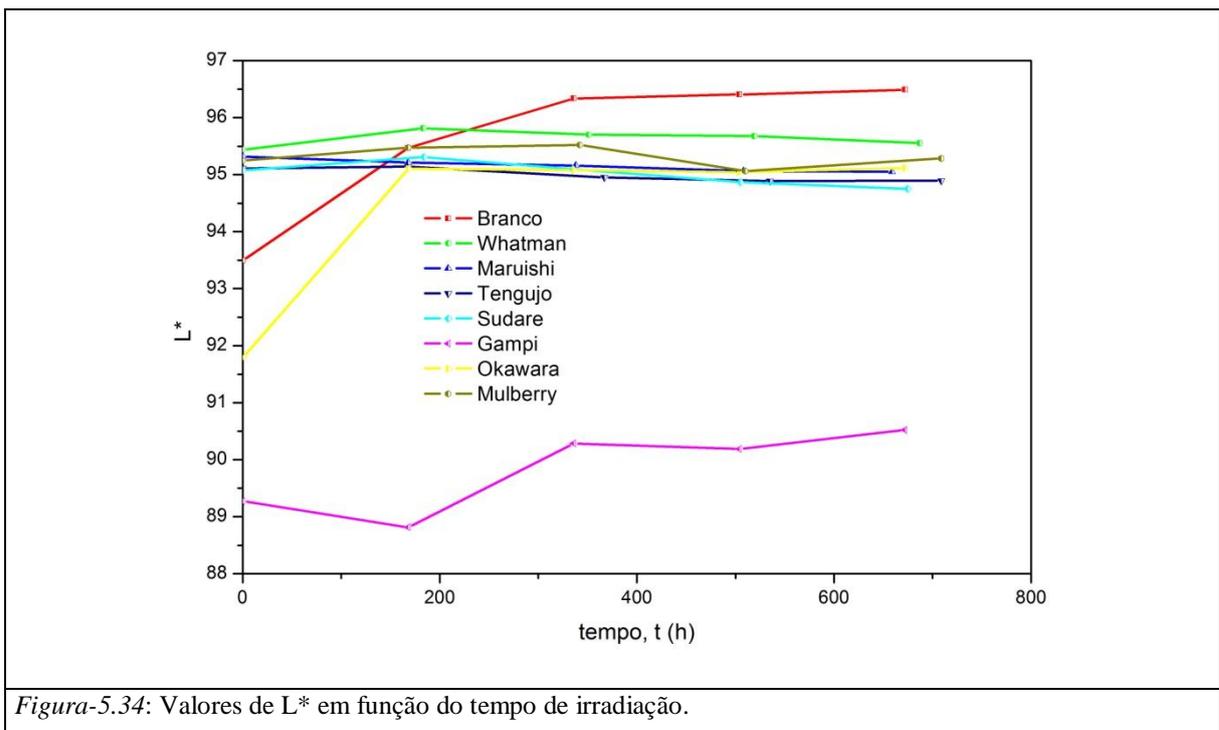


Figura-5.34: Valores de L^* em função do tempo de irradiação.

Considerando o conjunto das figuras 4.17 até 4.24, observa-se, de forma geral, que os deslocamentos no espaço de cores são mais acentuados na primeira semana do período de irradiação. Contudo, mesmo para uma análise qualitativa, é interessante separar a análise em termos de matiz da análise em termos de luminosidade. Um fato que foi uma surpresa, em face de ir contra o senso comum de que papeis amarelam com o tempo, foi o embranquecimento do papel Okawara que pode ser visto no Apêndice-E da Figura-E.106 até a Figura-E.110.

A Figura-5.32, mostra os percursos das cores dos papeis ao longo do tempo de irradiação, do ponto de vista apenas de matiz. Fica claro que enquanto a cor do papel branco muda de quadrante no plano a^*b^* , evidenciando uma mudança de cor bastante perceptível, as cores dos papeis Whatmam e Japonês se mantêm no quadrante de origem, dificultando a percepção de mudança de cor por um observador não treinado. Além disso, observa-se que quando consideramos a geometria das trajetórias, os papeis Branco, Gampi e Okawara apresentam trajetórias predominantemente retilíneas. A Figura-5.33, é uma reimpressão da Figura-5.32, sem as trajetórias das cores dos papeis Branco e do Gampi. Esta figura mostra de forma patente o distanciamento do comportamento da cor do papel Okawara em relação aos outros papeis Japonês, deste grupo selecionado.

Levando-se em conta apenas os papeis estudados, de forma qualitativa, examinando estas duas figuras e tendo em mente o ponto de vista de um profissional da restauração de objetos de papel, surge naturalmente a observação: Para restaurações de objetos com cores similares ao grupo selecionado no parágrafo anterior, aparentemente os papeis Maruishi, Mulberry, Sudare ou Tengujo, devem ser os mais adequados, dependendo da gramatura exigida.

Na Figura-5.34, apresentam-se as trajetórias das cores dos papeis do ponto de vista apenas da luminosidade. As várias trajetórias mostram que o comportamento da luminosidade também é significativamente diferente nos casos dos papeis Branco, Gampi e Okawara, com relação a todos os outros papeis do grupo. Nos casos particulares dos papeis Branco e Okawara, as variações da luminosidade, chegam a ser dez vezes superiores as variações de luminosidade em relação a cinco dos outros tipos de papeis.

5.1.2 – Discussão Quantitativa.

A discussão anterior pode ser aprofundada usando-se alguns parâmetros que contabilizam as variações de cor no espaço de cores. Embora haja algumas propostas para construção destes parâmetros, do nosso conhecimento, todos eles contabilizam mudanças apenas entre dois pontos no espaço de cores. Para uma análise que leve em conta as mudanças em função do tempo, concluímos ser mais adequado construir um novo parâmetro que contabilize o acúmulo das mudanças de cor no espaço de cores.

Usualmente, os trabalhos que investigam a mudança de cor de objetos, utilizam o que se denomina - Contraste de Cor. Sendo a sua medida, a distância Euclidiana ΔE^* , no espaço de cor $L^*a^*b^*$. Nestes estudos, são realizadas as medições das cores inicial, (L_0^*, a_0^*, b_0^*) , e final, $(L^*a^*b^*)$, do objeto em estudo, e calcula-se o contraste de cor utilizando a equação abaixo,

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}.$$

Contudo, o ΔE^* , pode permitir que a mudança na cor não seja evidenciada quando o objeto de estudo precisar levar em conta a sua trajetória como função do tempo no espaço tridimensional, principalmente por duas razões:

- i) A distância Euclidiana é um parâmetro que pode “esconder” variações de cor consideradas significativas, para a percepção humana;
- ii) O parâmetro somente mede mudanças absolutas de cor. O que dependendo do valor inicial ou matiz da cor pode também “esconder” mudanças significativas das cores.

Embora existam outras possibilidades de propostas de parâmetros que caminhem no sentido de minimizar as duas objeções anteriormente elencadas, faremos uso da proposição de apenas uma que aparentemente se apresenta melhor do que a distância Euclidiana para estudar o processo em pauta.

Assim, após a observação do movimento da cor nas amostras objetos da nossa pesquisa, propomos o que chamamos de *Índice de Degradação da Cor, IDC*, o qual é dado por:

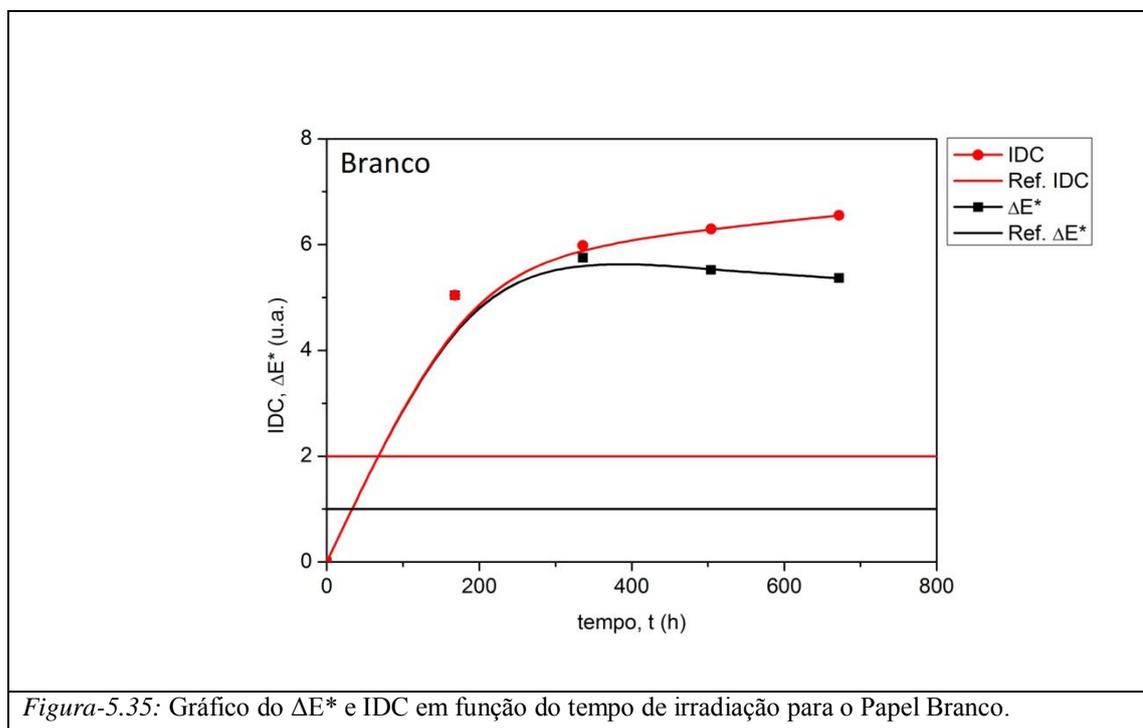
$$IDC_I = \sum_{i=1}^I \Delta S_i$$

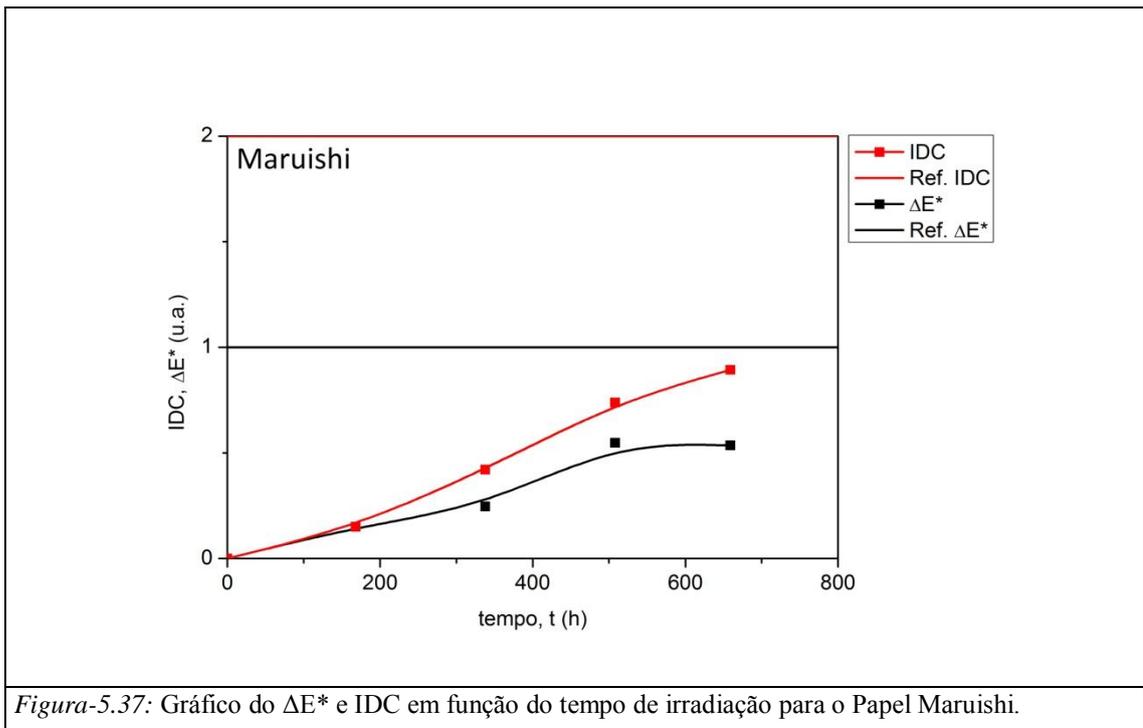
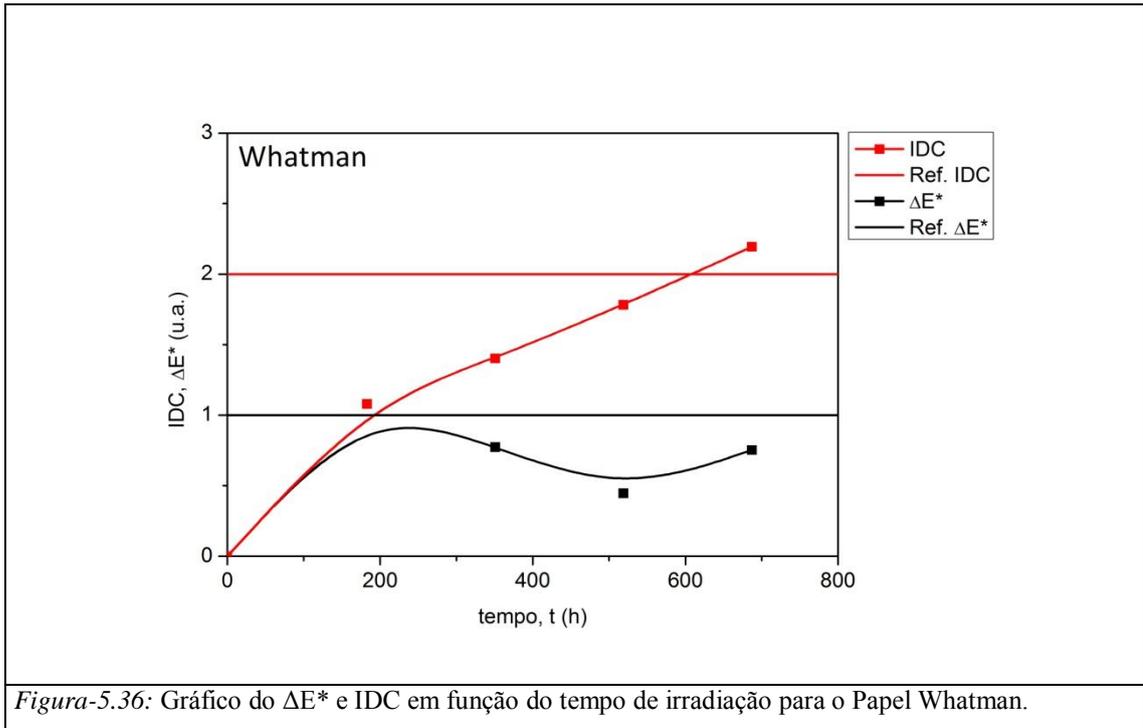
Sendo $N+1$ o número de instantes de medições da cor, i ($1 \leq i \leq N$) representa os instantes nos quais as cores são medidas em papel irradiado e I ($1 \leq I \leq N$) o instante específico no qual calculamos o IDC.

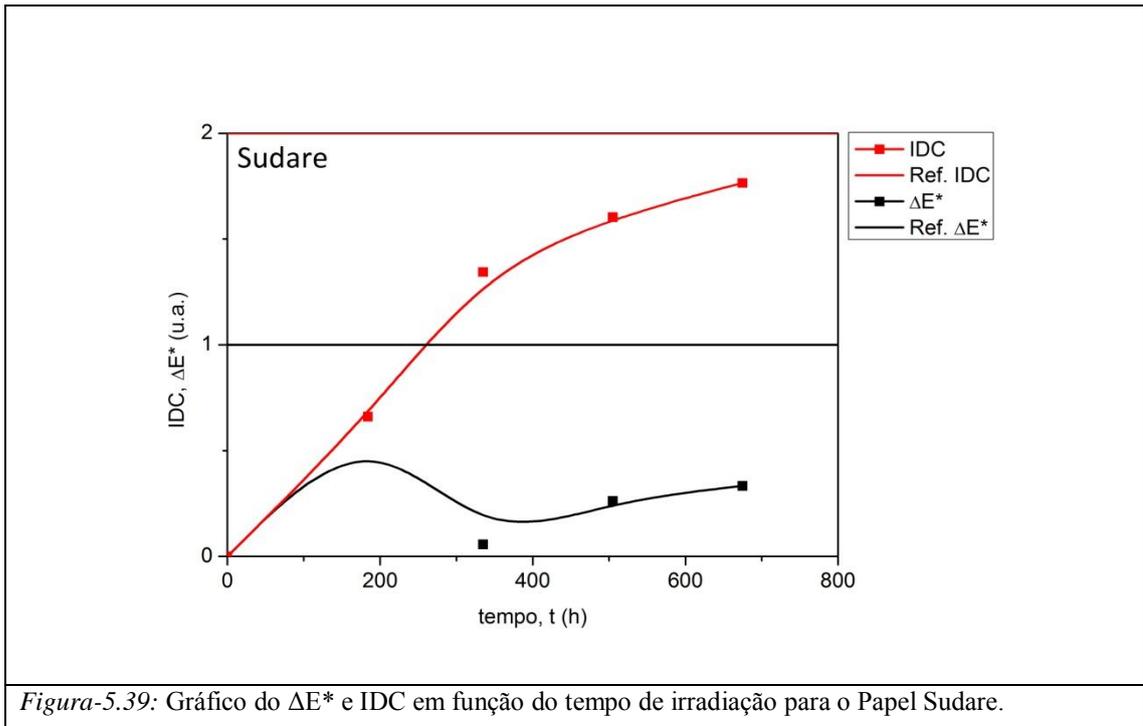
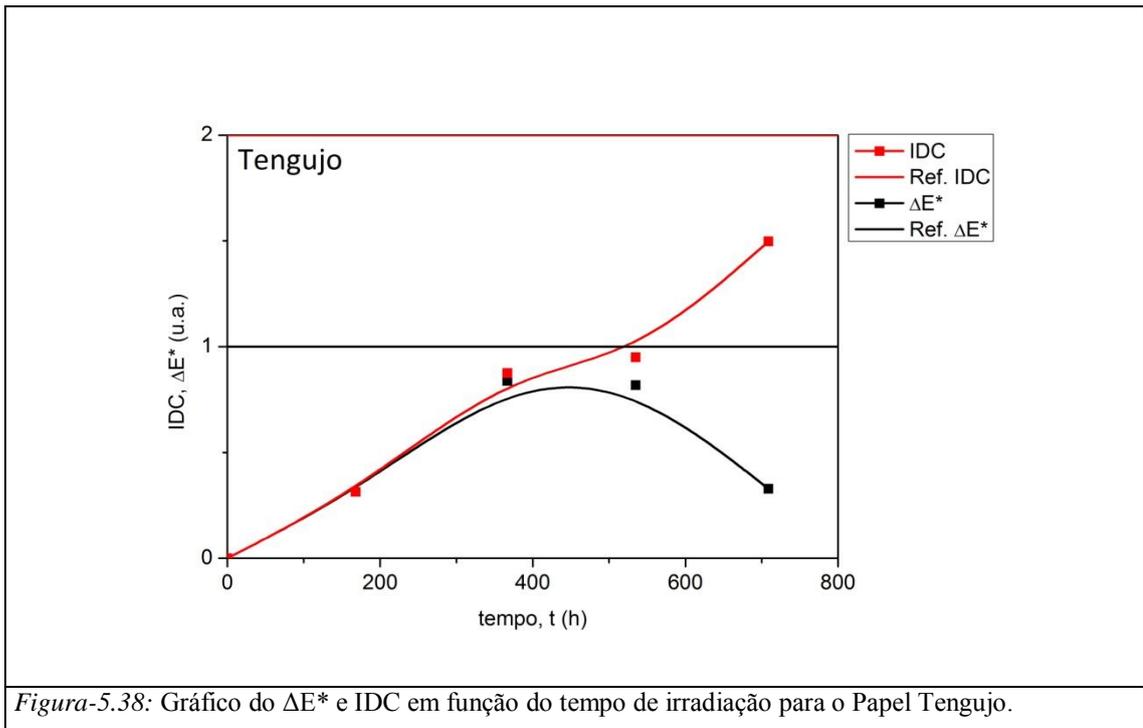
$$\Delta S_i = \sqrt{(L_i^* - L_{i-1}^*)^2 + (a_i^* - a_{i-1}^*)^2 + (b_i^* - b_{i-1}^*)^2}$$

Onde L_0^* , a_0^* e b_0^* são as coordenadas da cor, no instante inicial, ou seja, do papel não irradiado.

Da Figura-5.35 até a Figura-5.42 se apresenta um comparativo do ΔE^* e o IDC em função do tempo de irradiação para cada tipo de papel.







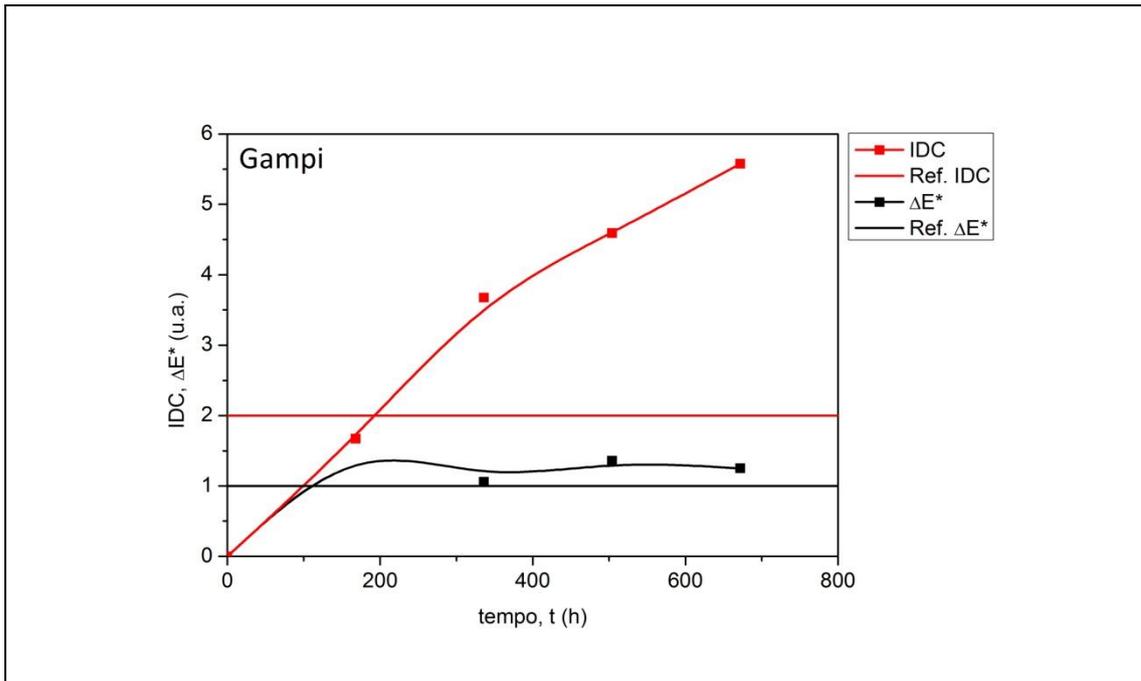


Figura-5.40: Gráfico do ΔE^* e IDC em função do tempo de irradiação para o Papel Gampi.

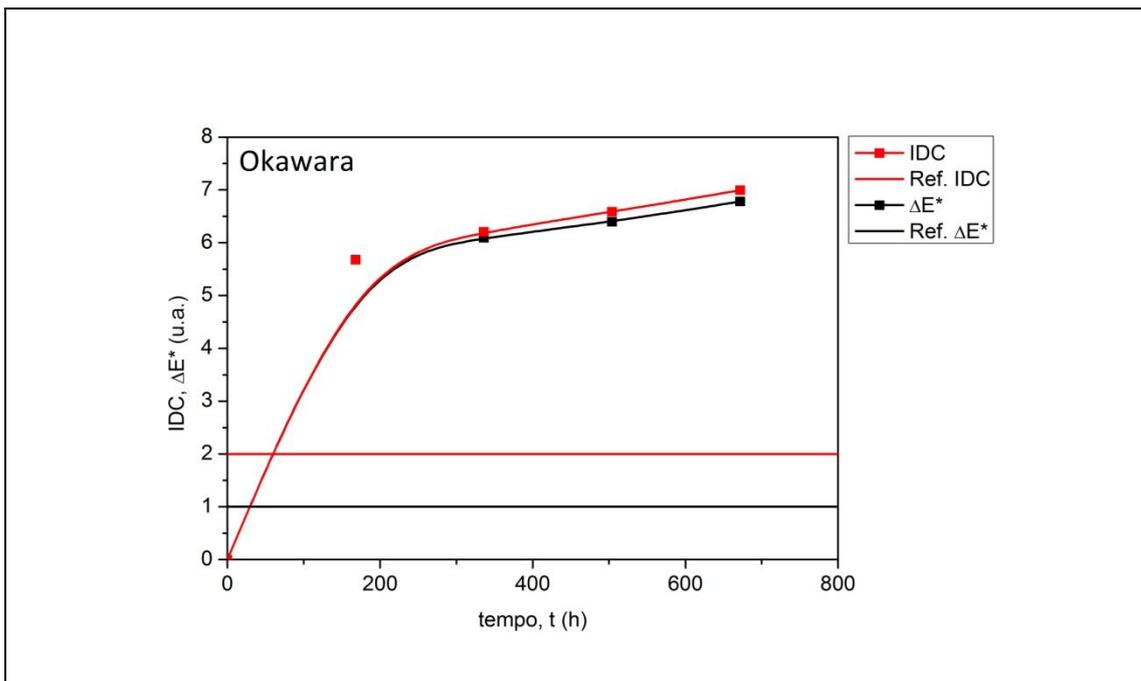
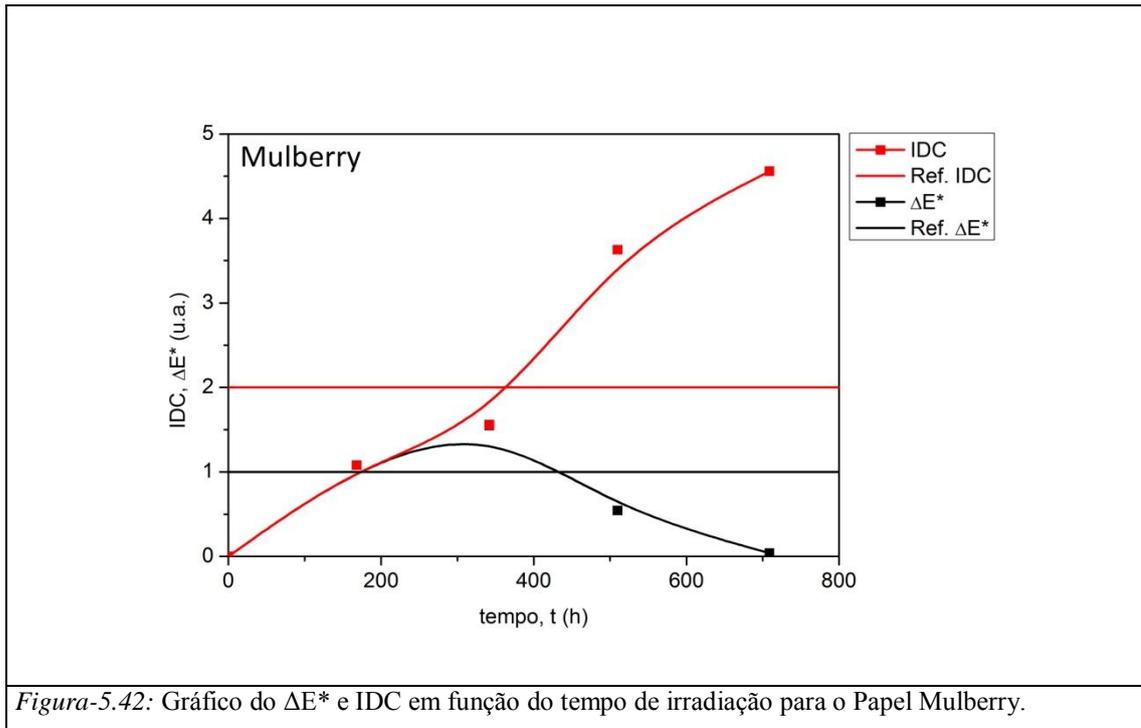


Figura-5.41: Gráfico do ΔE^* e IDC em função do tempo de irradiação para o Papel Okawara.



De forma geral, qualquer índice dinâmico é estruturado para condensar algum tipo específico de informação sobre um determinado processo. O IDC proposto foi definido de modo a contabilizar uma aproximação para o comprimento da trajetória da cor, no espaço de cores. Os processos físico-químicos que conduzem a mudança da cor são complexos, mas aparentemente, de acordo com os nossos experimentos, há indicações de que alguns desses processos podem ser reversíveis do ponto de vista da trajetória da cor. Visto que o IDC leva em conta as mudanças de cor reversíveis e irreversíveis, ele é um indicador que cresce monotonicamente com o tempo de exposição à luz UV.

Assim como na parte experimental deste trabalho, onde acrescentamos o papel Branco como elemento de referência, no caso da análise dos dados experimentais usando o IDC, se estabeleceu o ΔE^* como elemento de referência. Contudo, de forma não usual, todos os valores de ΔE^* são calculados tendo como referência o valor da cor do papel não irradiado (L_0^*, a_0^*, b_0^*).

Lembrando que o ΔE^* é um parâmetro que mascara em algum grau, a informação sobre as mudanças de cor do papel que envolveu processos reversíveis na cor, e que o IDC

diferentemente contém a informação sobre as mudanças de cor do papel, sejam elas reversíveis na cor ou não, iniciamos a análise em termos destes dois parâmetros.

Em princípio, esperara-se de um papel de qualidade que não haja variação de cor ao longo do tempo, ou seja, $\Delta E^* \cong 0$. Todavia, o quão próximo de zero deve estar ΔE^* ? Na literatura desta área, frequentemente, é adotado o critério no qual se o contraste ΔE^* se mantém no intervalo $0 < \Delta E^* \lesssim 1$, é assumido que a mudança de cor não foi relevante. Assim, adota-se nesta análise este critério, como princípio, para avaliação deste quesito de qualidade de um papel destinado a ser utilizado em restaurações.

Da Figura-5.35 até a Figura-5.42 os gráficos mostram a dinâmica das quantidades ΔE^* e do IDC em função do período de exposição à luz UV, para os tipos de papeis sob as mesmas condições de experimentos. As curvas introduzidas junto com os pontos obtidos experimentalmente foram obtidas minimizando o desvio quadrático acumulado. As curvas devem ser utilizadas apenas para guiar o leitor na observação do comportamento geral dos resultados experimentais. Não há um modelo matemático que substancie as curvas mostradas. A linha horizontal preta, presente em todas as figuras, foi adicionada para lembrar o critério para o ΔE^* .

O ΔE^* e o IDC para o Papel Branco (Gráfico-5.35) e o Papel Okawara (Gráfico-5.41), como já foi alertado, se comportam de maneira similar, crescem rapidamente nos primeiros sete dias de irradiação, colocando-os na categoria de variação perceptível. O que os diferenciam é que o ΔE^* do Papel Branco apresenta uma diminuição do valor, caracterizando um início de retorno à cor original e no caso do Papel Okawara o ΔE^* e o IDC permanecem em ascensão, indicando que continua o processo de mudança na cor. Para os dois papeis o critério de limite para ΔE^* não é satisfeito. Fica evidente que a quantidade do ΔE^* está associada aos processos físico-químicos de mudança da cor que podem inclusive ser reversíveis.

Já os papeis Whatman e Gampi satisfazem marginalmente ao critério para ΔE^* . No outro extremo do intervalo, o uso do critério sugere que os melhores desempenhos neste quesito são dos papeis Maruishi e Sudare, enquanto que estariam com desempenho intermediário os papeis Mulberry e Tengujo.

Mesmo mantendo o critério $0 < \Delta E^* \lesssim 1$, a reversibilidade apresentada em alguns tipos de papeis permite alcançar valores altos de mudança de cor e que ficam ocultados pela metodologia de averiguação da mudança de cor hoje praticada. Assim, procuramos melhorar a avaliação de mudança de cor do papel, propondo o parâmetro IDC que contabiliza, de forma aproximada, o comprimento da trajetória da cor.

Considerando mudanças de cor que se aproximem de 2, adotaremos o critério para o IDC, $0 < IDC \lesssim 2$. Refazendo a análise realizada acima da Figura-5.35 até a Figura-5.42, é possível verificar que os papeis Branco, Gampi, Mulberry, Okawara, Tengujo e Whatman não satisfazem a este critério de qualidade para variação de cor. O uso do novo critério sugere ainda que os melhores desempenhos neste quesito continuam sendo dos papeis Maruishi e Sudare, com o Maruishi liderando isoladamente. A linha horizontal vermelha, presente em todas as figuras, foi adicionada para lembrar o critério para o IDC.

Os experimentos com os papéis ainda sugerem que o processo de degradação da cor ocorre, essencialmente, no início da exposição e que após este período, para alguns tipos de papeis aparentemente, não faria mais sentido, como prática de conservação, tentar minimizar a exposição à radiação visto que não haverá uma degradação significativa da cor.

5.2 – Tração Mecânica.

Embora, em geral, a mudança de cor do papel denuncie o envelhecimento do mesmo, este aspecto, observado isoladamente, apenas influencia na estética dos documentos. Todavia, a mudança de cor denuncia à aqueles que lidam com a tarefa de conservação de acervos em papel, de que outras propriedades do material podem estar sofrendo modificações. Não há dúvidas de que a integridade de objetos de papel está ligada às propriedades mecânicas do material. Há uma grande variedade de agentes e processos pelos quais estas propriedades podem sofrer modificações. Independente das vias pelas quais isto acontece, a forma de verificar os efeitos é realizar ensaios de tração mecânica.

5.2.1 – Discussão Qualitativa.

Essencialmente, os ensaios de tração mecânica resultam em um gráfico da força de tração versus deformação. A partir deste gráfico é possível retirar um conjunto de parâmetros que ajudam na avaliação das condições mecânicas do papel. Embora seja possível obter um número maior de parâmetros, optamos por trabalhar apenas com os três parâmetros mais usuais: a tensão máxima, T_{MAX} , a deformação máxima, δ_{MAX} , e o módulo de elasticidade, E .

O equipamento que há disponível para realização dos ensaios de tração mecânica trabalha com uma célula de carga de capacidade bem superior aos valores necessários para os ensaios com papel. Acreditamos que as oscilações observadas em todos os gráficos são decorrentes da falta de sensibilidade da célula de carga para os valores de força de tração utilizados. Para garantir que os resultados obtidos têm valor científico, comparamos as medições realizadas com medições da literatura [M. Cocca, pg 6]. A concordância da pesquisa com o trabalho de M. Cocca e colaboradores é excelente.

Da Figura-D.69 até a Figura-D.75 é possível ver que de maneira geral os ensaios de tração mecânica destes papeis podem ser divididos em quatro partes, sendo que para algumas amostras, certas regiões podem ser quase inexistentes. A primeira parte, no início da deformação, parece ser uma região de acomodação das fibras e ligantes, pois há deformação, mas a intensidade da força de tração registrada é muito baixa. A segunda parte é a região elástica, caracterizada por um crescimento linear da força de tração com a deformação. A

terceira é a região plástica, caracterizada ainda por um crescimento da força de tração, porém com concavidade para baixo. A última parte é a região de ruptura.

Na maioria dos ensaios observou-se a predominância da região plástica. Na verdade, em alguns papéis, quase inexistente a fase elástica. Isto dificultou a medição do módulo de elasticidade. Observou-se também que a ruptura somente ocorreu de forma abrupta no caso do papel branco. Em todos os outros casos ela foi gradual e oferecendo resistência ao processo de deformação.

5.2.2 – Discussão Quantitativa.

A Figura-4.25 até a Figura-4.31 mostra o gráfico de T_{MAX} , δ_{MAX} e E em função do tempo de irradiação. No geral, observa-se que as incertezas são notadamente mais elevadas nas medições do módulo de elasticidade, dificultando desta forma uma análise mais precisa. Uma breve inspeção dos 21 gráficos presentes, considerando o primeiro ponto e o último, deixa claro que em 19 deles as grandezas decaem, embora não sejam todos, decaimentos monotônicos. Dentre os 19 decaimentos, nove são decaimentos monotônicos. Visto que o papel Whatman é um papel especial, no sentido de que ele é produzido com elevadíssimo controle de qualidade, com fibras longas e poucos aditivos, chama a atenção o comportamento mecânico deste material. A Figura-4.26, mostra que há uma mudança de comportamento mecânico de caráter mais fundamental, pois os três parâmetros observados sofrem uma mudança na mesma região temporal. Ou seja, durante o período de irradiação, no intervalo aproximado de $t = 400 h$ até $t = 500 h$, há uma “mudança de fase” que influencia a evolução temporal dos parâmetros de avaliação mecânica do papel. Tamanho efeito sugere uma mudança estrutural que parece ser um fenômeno coletivo.

A fim de dar suporte aos laboratórios de restauração, propomos a criação do Fator de Qualidade Mecânica (FQ_M), idealizado assim como o IDC para orientação quanto ao comportamento do papel escolhido para o uso como agente restaurador. Definimos,

$$FQ_M = \frac{1}{\sigma} \times \frac{T_i}{T_i - T_f},$$

onde, T_i e T_f são as tensões iniciais e finais (após irradiação) respectivamente e σ é a gramatura em kg/m^2 .

A partir das medições realizadas em nossa pesquisa, obtivemos os valores de FQ_M para cada amostra. O resultado é normalizado pela melhor classificação e apresentado na Tabela-5.43 a seguir.

Papel	T_i	T_f	σ	FQ_M	Classificação	Normalizado
<i>Branco</i>	22	14,1	0,075	37,13	4°	0,30
<i>Whatman</i>	12,3	5,8	0,068	27,83	6°	0,22
<i>Maruishi</i>	-	-	0,009	0	8°	0
<i>Tengujo</i>	2,6	0,7	0,011	124,40	1°	1,00
<i>Sudare</i>	4,6	0,3	0,017	62,93	2°	0,51
<i>Gampi</i>	27,9	4,2	0,030	39,24	3°	0,32
<i>Okawara</i>	7,8	1,7	0,040	31,97	5°	0,26
<i>Mulberry</i>	6,4	2,1	0,060	24,81	7°	0,20

Tabela-5.43: Quadro com a tabulação do FQ_M calculado e normalizado pelo valor do mais elevado.

A normalização dos valores FQ_M em relação ao valor mais elevado alcançado, permite uma comparação mais direta. Se, de forma arbitrária, definirmos como de boa qualidade mecânica os papeis que obtiverem FQ_M normalizado igual o superior a 0,5, a tabela 5.43 mostra que os papeis Sudare e Tengujo seriam considerados de boa qualidade. Se a boa qualidade for redefinida pelos valores alcançados pelo papel branco com $FQ_M = 0,3$, o papel Gampi deveria ser incluído na lista dos papeis de boa qualidade mecânica.

Capítulo 6 – CONCLUSÕES

O problema da degradação de objetos por luz visível e UV tem sido estudado, de forma qualitativa e quantitativa, desde a década de 60 do século passado, seja por luz produzida por fonte natural ou artificial. Em particular, os objetos feitos de papel e principalmente os elaborados com o objetivo de portarem registros, são especialmente importantes desde quando o homem aprendeu a produzi-lo, pois desde então o papel passou a ser o principal meio de memória dos mais diversos eventos.

Contudo, ao longo das décadas, as técnicas de restauração de objetos de papel foram sendo aperfeiçoadas e isto conduziu a utilização de vários tipos de papeis especiais, ocupando posição de destaque o chamado Papel Japonês. Apesar de serem utilizados em muitas instituições que trabalham com conservação e/ou restauração de objetos de papel, do nosso conhecimento, não há um estudo sistemático sobre a degradação do próprio Papel Japonês, o que nos parece ser de suma importância para escolha de um adequado procedimento de conservação e/ou restauração.

Neste trabalho, escolhemos estudar o comportamento dos dois efeitos que os profissionais da área de conservação e restauração de objetos de papel devem considerar como mais importantes na degradação de papel – a Cor e a Resistência Mecânica. Estes efeitos foram acompanhados quantitativamente através da medição de grandezas associadas, em função do tempo de irradiação com luz UV de alta intensidade. Foi assumido como hipótese que a radiação UV total absorvida pelas amostras de papel em nosso irradiador tem aproximadamente o mesmo efeito que teria a radiação UV total absorvida pelas amostras de papel quando iluminadas por uma fonte de iluminação típica do ambiente de museus, ao longo de um ano de exposição, por exemplo. Esta é chamada de hipótese do envelhecimento acelerado.

Considerando a cor do papel, foram propostos dois critérios de qualidade. O critério baseado na distância Euclidiana entre cores, ΔE^* e o baseado no IDC. De acordo com o primeiro critério, os papeis Whatman e Gampi estão no limiar entre uma região de boa qualidade e má qualidade. Ainda considerando o critério para ΔE^* , os melhores desempenhos no quesito de constância da cor, são dos papeis Maruishi e Sudare. Sob o critério do IDC, os

papeis Maruishi e Sudare são classificados como de boa qualidade, com o Maruishi liderando isoladamente.

Considerando todos os ensaios de tração mecânica, do ponto de vista do critério mais rígido adotado, $FQ_M \geq 0,5$, os papeis Sudare e Tengujo são de boa qualidade mecânica.

Todavia, gostaríamos de fazer uma classificação de qualidade, levando em conta cor e resistência mecânica, simultaneamente. Para tanto, no caso da cor, vamos utilizar o critério para ΔE^* e visto que na prática os efeitos, em geral, sempre se acumulam, vamos considerar os valores finais para ΔE^* . Desta forma, é esperado que a classificação em cor fosse um pouco diferente daquela apresentada nas discussões e em parágrafo anterior destas conclusões. No caso da resistência mecânica, vamos utilizar o FQ_M , tendo como limite entre boa e má qualidade o valor $FQ_M = 0,5$, ou seja, metade do papel referencia. Com o objetivo de se obter uma apresentação didática, especialmente para o leitor interessado na área de conservação e restauração, os resultados são apresentados na forma de um diagrama, dividido em quatro regiões que são caracterizadas pelo desempenho dos papeis nos dois aspectos escolhidos.

As regiões foram nomeadas como:

- 1 - [EB-MB];
- 2 - [ER-MB];
- 3 - [EB-MR];
- 4 - [ER-MR].

onde:

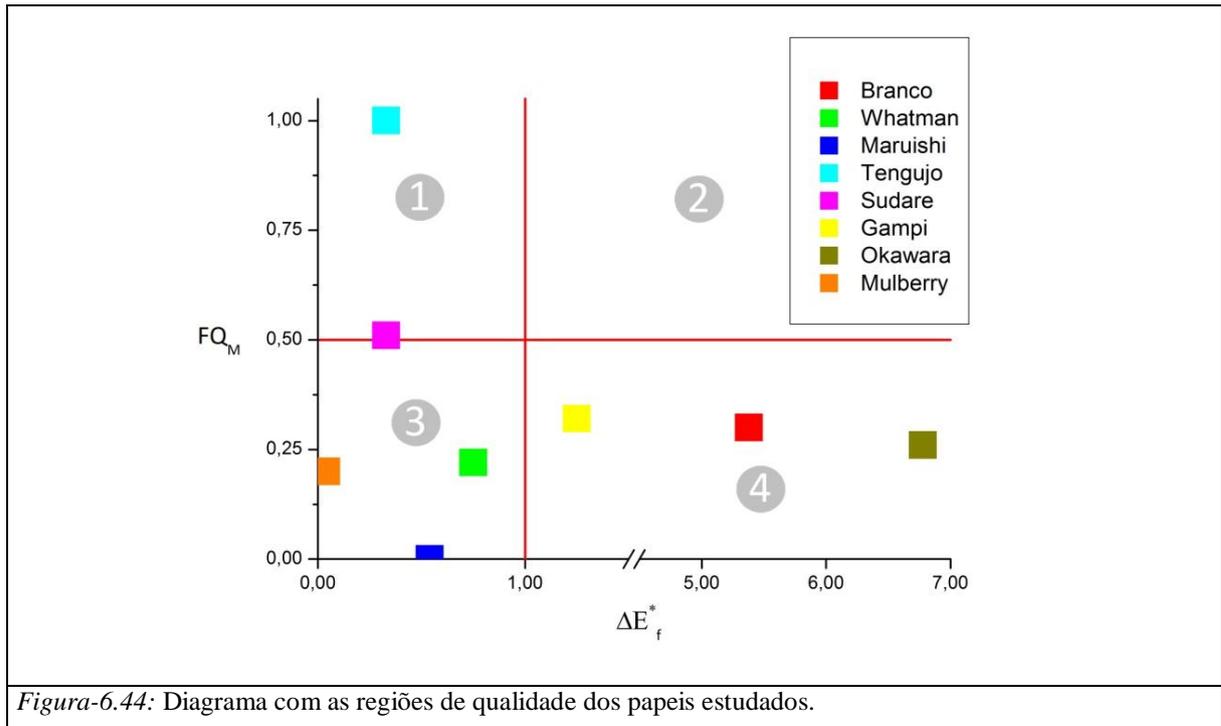
EB = Esteticamente Bom;

ER = Esteticamente Ruim;

MB = Mecanicamente Bom;

MR = Mecanicamente Ruim.

Com os dados da Tabela-5.43 e plotando uma relação dos FQ_M das amostras com o seu respectivo ΔE^* final (vide Apêndice - C), temos na Figura-6.44 a ilustração desta relação.



As linhas vermelhas delimitam os quatro arranjos qualitativos. No eixo ΔE_f^* , o valor foi definido em 1 (um) por ser o que a literatura vigente coloca como limite de percepção do olho humano a variação da cor. No eixo FQ_M , o valor foi arbitrariamente definido em 50 por cento do papel normalizado em 1 da nossa pesquisa.

A partir de todos os dados apresentados até aqui, fica claro que os papeis Japonês hoje usados indistintamente nos laboratórios de restauração, sem a preocupação com o seu comportamento futuro em questões de cor e resistência mecânica, levam a resultados que ficam atrelados a sorte na escolha dos mesmos.

Como se pode constatar na Figura-6.44, há papel bom em resistência mecânica e na estabilidade da cor como o Tengujo, e papel ruim na resistência mecânica e na estabilidade da cor como o Okawara; entre os dois podemos enquadrar os demais papeis da pesquisa em uma serie de combinações qualitativas que são suportadas em parâmetros quantitativos.

É certo que o tema abordado carece de mais pesquisas, complementares e/ou suplementares, a fim de criar um banco de dados sobre os materiais existentes nos acervos museais e afins, permitindo aos responsáveis pela guarda e aos restauradores uma melhor tomada de decisão na mitigação dos danos futuros.

Assim, com a adoção dos *Índices*: IDC e FQ_M, aqui propostos, por parte dos laboratórios de conservação e/ou restauração, acredita-se estar contribuindo para a preservação destes acervos e principalmente da *Memória* neles embarcada.

REFERÊNCIAS.

CAMPOS, J. R. de Oliveira, Equipamento básico para uso em conservação de acervos museais: análise do luxímetro, TCC (monografia) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Departamento de Antropologia e Museologia, 2013;

CIE - Commission Internationale de l'Eclairage, <http://eiv.cie.co.at>, acessado em 07/10/2015.

CIE., Technical Report, 157:2004 - Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation Publication, Vienna, International Commission On Illumination, 2004;

COCCO, Luigi, Modern Metrology Concerns, ebook, InTech, 2012, disponível em: <http://www.intechopen.com/books/modern-metrologyconcerns/optical-radiation-measurements>;

CUTTLE, Christopher, Light for Art's Sake - Lighting for Artworks and Museum Displays, 1ª Ed, Londres, Butterwoth-Heinemann, 2007;

GANSLANDT, Rüdiger, HOFMANN, Harald, Handbook of Lighting Design, 1ª Ed, Lüdenscheid, Verlag Vieweg, 1992;

HERNANDEZ-HERNANDEZ, Francisca, Manual de Museologia, 1ª Ed, Madrid, Sintesis, 2009;

M. Cocca, L. D'Arienzo, and L. D'Orazio, Effects of Different Artificial Agings on Structure and Properties of Whatman Paper Samples, ISRN Materials Science, Volume 2011 (2011), Article ID 863083, 7 pages.

MICHALSKI, Stefan, Light, Ultraviolet and Infrared, Canadian Conservation Institute, <https://www.cci-icc.gc.ca/resources-ressources/agentsofdeterioration-agentsdedeterioration/chap08-eng.aspx>, acessado em Nov/2015;

_____, Towards specific lighting guidelines. In Preprints of the 7th Triennial Meeting, ICOM-Committee for Conservation, Dresden, Germany, 1990, pg 583-589;

MOREIRA, Vinícius de Araujo, Iluminação e Fotometria: teoria e aplicação, 3ª Ed, São Paulo, Edgard Blücher, 1987;

_____, Iluminação Elétrica, 1ª Ed, São Paulo, Edgard Blücher, 1999;

PADFIELD, Tim, Conservationphysics.org, acessado em Nov/2015,

<http://www.conservationphysics.org/lightmtr/luxerror.php>;

REA, Mark S., The IESNA Lighting Handbook Reference and Application, 9ª Ed, New York, IESNA, 2000;

RYER, Alex, Light Measurement Handbook, 1ª Ed, Newburyport, International Light Inc, 1998;

SCHUBERT, E. Fred, Light-Emitting Diodes, 2ª Ed, New York, Rensselaer Polytechnic Institute - Cambridge University Press, 2006;

TAYLOR, Alma E. F., Illumination Fundamentals, ebook, LRC, 2000, disponível em:

<http://www.lrc.rpi.edu/resources/publications/pdf/illuminationfund.pdf>;

The Lighting Research Center, acessado em: Nov/2015,

<http://www.lrc.rpi.edu/education/learning/intro.asp?mode=terminology>;

THOMSON, Garry, The Museum Environment, 2ª Ed, Londres, Butterwoth-Heinemann, 1986.

APÊNDICE.

A – Tabelas de Colorimetria.

Da Tabela-A.45 à Tabela-A.52, tabulam-se os valores de cor das amostras dos papeis como função do tempo de irradiação.

Papel Branco	L*	a*	b*
Não irradiado	93,491 ± 0,020	0,464 ± 0,019	-2,533 ± 0,042
168 h	95,47 ± 0,14	-0,469 ± 0,010	2,01 ± 0,12
336 h	96,337 ± 0,090	-0,496 ± 0,016	2,371 ± 0,078
504 h	96,404 ± 0,080	-0,459 ± 0,013	2,067 ± 0,054
672 h	96,490 ± 0,076	-0,411 ± 0,019	1,830 ± 0,038

Tabela-A.45: Valores médios de medições de L, a* e b*, com iluminante D65, para cada instante.*

Papel Whatman	L*	a*	b*
Não irradiado	95,44 ± 0,11	-0,463 ± 0,010	3,484 ± 0,042
183 h	95,81 ± 0,11	-0,456 ± 0,018	2,473 ± 0,082
351 h	95,701 ± 0,048	-0,544 ± 0,022	2,76 ± 0,10
519 h	95,68 ± 0,12	-0,609 ± 0,024	3,13 ± 0,14
687 h	95,553 ± 0,096	-0,567 ± 0,015	2,75 ± 0,10

Tabela-A.46: Valores médios de medições de L, a* e b*, com iluminante D65, para cada instante.*

Papel Maruishi	L*	a*	b*
Não irradiado	95,319 ± 0,015	-0,564 ± 0,011	3,239 ± 0,016
168 h	95,210 ± 0,030	-0,473 ± 0,018	3,190 ± 0,059
338 h	95,159 ± 0,054	-0,607 ± 0,014	3,420 ± 0,051
508 h	95,061 ± 0,054	-0,754 ± 0,016	3,68 ± 0,17
659 h	95,051 ± 0,056	-0,600 ± 0,017	3,70 ± 0,13

Tabela-A.47: Valores médios de medições de L, a* e b*, com iluminante D65, para cada instante.*

Papel Tengujo	L*	a*	b*
Não irradiado	95,110 ± 0,021	-0,519 ± 0,010	3,543 ± 0,027
168 h	95,140 ± 0,023	-0,624 ± 0,011	3,84 ± 0,13
367 h	94,950 ± 0,057	-0,583 ± 0,019	4,36 ± 0,15
535 h	94,886 ± 0,062	-0,593 ± 0,013	4,33 ± 0,24
709 h	94,89 ± 0,11	-0,5786 ± 0,0083	3,78 ± 0,15

Tabela-A.48: Valores médios de medições de L, a* e b*, com iluminante D65, para cada instante.*

Papel Sudare	L*	a*	b*
Não irradiado	95,079 ± 0,031	-0,591 ± 0,014	3,850 ± 0,044
184 h	95,309 ± 0,035	-0,534 ± 0,021	3,23 ± 0,11
335 h	95,097 ± 0,034	-0,637 ± 0,028	3,88 ± 0,17
505 h	94,87 ± 0,10	-0,646 ± 0,048	3,99 ± 0,27
675 h	94,75 ± 0,15	-0,653 ± 0,056	3,88 ± 0,27

Tabela-A.49: Valores médios de medições de L, a* e b*, com iluminante D65, para cada instante.*

Papel Gampi	L*	a*	b*
Não irradiado	89,271 ± 0,081	0,531 ± 0,044	17,634 ± 0,090
168 h	88,81 ± 0,42	1,61 ± 0,25	18,83 ± 0,58
336 h	90,28 ± 0,50	0,85 ± 0,34	17,70 ± 0,82
504 h	90,19 ± 0,44	0,77 ± 0,36	18,61 ± 0,66
672 h	90,52 ± 0,54	0,57 ± 0,42	17,70 ± 0,81

Tabela-A.50: Valores médios de medições de L, a* e b*, com iluminante D65, para cada instante.*

Papel Okawara	L*	a*	b*
Não irradiado	91,790 ± 0,093	-1,426 ± 0,030	9,84 ± 0,17
168 h	95,100 ± 0,050	-0,726 ± 0,030	5,28 ± 0,16
336 h	95,079 ± 0,043	-0,559 ± 0,015	4,78 ± 0,13
504 h	95,041 ± 0,059	-0,547 ± 0,027	4,40 ± 0,26
672 h	95,116 ± 0,064	-0,539 ± 0,010	4,00 ± 0,14

Tabela-A.51: Valores médios de medições de L, a* e b*, com iluminante D65, para cada instante.*

Papel Mulberry	L*	a*	b*
Não irradiado	95,246 ± 0,040	-0,636 ± 0,014	4,449 ± 0,089
168 h	95,473 ± 0,050	-0,539 ± 0,016	3,399 ± 0,087
342 h	95,521 ± 0,054	-0,384 ± 0,013	2,946 ± 0,093
510 h	95,06 ± 0,10	-0,563 ± 0,028	4,96 ± 0,29
709 h	95,28 ± 0,14	-0,513 ± 0,053	4,056 ± 0,48

Tabela-A.52: Valores médios de medições de L, a* e b*, com iluminante D65, para cada instante.*

B – Tabelas de Tração Mecânica.

Da Tabela-B.53 à Tabela-B.60, tabulam-se as Tensões de Ruptura (T_{Max}), a Deformação Máxima (δ_{Max}) e o Módulo de Young ou Elástico (E) das amostras dos papeis como função do tempo de irradiação.

Papel Branco	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Módulo de Young (MPa)
	T_{Max}	δ_{Max}	E
Não irradiado	$22,0 \pm 1,6$	$7,5 \pm 0,6$	$742,2 \pm 71,2$
168 h	$17,6 \pm 1,0$	$8,0 \pm 0,5$	$636,3 \pm 42,3$
336 h	$16,0 \pm 1,0$	$7,0 \pm 0,4$	$558,0 \pm 73,5$
504 h	$13,8 \pm 0,8$	$5,3 \pm 0,5$	$539,3 \pm 91,6$
672 h	$14,1 \pm 1,2$	$4,1 \pm 0,5$	$660,0 \pm 82,1$

Tabela- B.53: Valores médios de medições e incertezas, para cada instante.

Papel Whatman	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Módulo de Young (MPa)
	T_{Max}	δ_{Max}	E
Não irradiado	$12,3 \pm 1,5$	$2,7 \pm 0,7$	$1.015,5 \pm 221,6$
183 h	$8,8 \pm 1,1$	$1,6 \pm 0,3$	$1.035,9 \pm 128,9$
351 h	$7,4 \pm 0,9$	$1,0 \pm 0,2$	$1.080,8 \pm 147,2$
519 h	$4,4 \pm 0,8$	$0,6 \pm 0,1$	$872,2 \pm 164,4$
687 h	$5,8 \pm 0,7$	$1,1 \pm 0,2$	$644,5 \pm 162,6$

Tabela-B.54: Valores médios de medições e incertezas, para cada instante.

Papel Maruishi	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Módulo de Young (MPa)
	T_{Max}	δ_{Max}	E
<div style="border: 1px dashed black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> Os dados do Papel Maruishi não puderam ser obtidos devido às limitações de fragilidade do mesmo, o que o tornou inadequado para uso no </div>			

Tabela-B.55: Valores médios de medições e incertezas, para cada instante.

Papel Tengujo	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Módulo de Young (MPa)
	T_{Max}	δ_{Max}	E
Não irradiado	$2,6 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,2$	$508,0 \pm 140,8$
168 h	$1,6 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,1$	$505,7 \pm 333,4$
367 h	$0,7 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,1$	$684,9 \pm 267,4$
535 h	Casos idênticos ao Papel Maruishi.		
709 h			

Tabela-B.56: Valores médios de medições e incertezas, para cada instante.

Papel Sudare	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Módulo de Young (MPa)
	T_{Max}	δ_{Max}	E
Não irradiado	$4,6 \pm 0,6$	$3,3 \pm 0,8$	$363,7 \pm 71,3$
184 h	$2,0 \pm 0,4$	$0,6 \pm 0,1$	$375,9 \pm 91,2$
335 h	$0,6 \pm 0,2$	$0,4 \pm 0,1$	$214,7 \pm 118,7$
505 h	$0,3 \pm 0,1$	$0,3 \pm 0,1$	$292,8 \pm 198,6$
675 h	Casos idênticos ao Papel Maruishi.		

Tabela- B.57: Valores médios de medições e incertezas, para cada instante.

Papel Gampi	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Módulo de Young (MPa)
	T_{Max}	δ_{Max}	E
Não irradiado	$27,9 \pm 1,3$	$3,3 \pm 0,1$	$1.899,4 \pm 147,5$
168 h	$10,5 \pm 0,9$	$1,2 \pm 0,1$	$1.716,7 \pm 194,6$
336 h	$6,1 \pm 0,7$	$0,8 \pm 0,1$	$1.507,1 \pm 296,9$
504 h	$5,0 \pm 0,6$	$0,8 \pm 0,1$	$1.134,8 \pm 284,2$
672 h	$4,2 \pm 0,4$	$0,7 \pm 0,1$	$1.049,8 \pm 252,1$

Tabela- B.58: Valores médios de medições e incertezas, para cada instante.

Papel Okawara	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Módulo de Young (MPa)
	T_{Max}	δ_{Max}	E
Não irradiado	$7,8 \pm 0,6$	$4,0 \pm 0,3$	$526,5 \pm 69,9$
168 h	$8,9 \pm 1,2$	$3,1 \pm 0,2$	$780,7 \pm 85,8$
336 h	$5,7 \pm 1,1$	$1,9 \pm 0,2$	$653,0 \pm 114,5$
504 h	$2,4 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,1$	$390,3 \pm 42,7$
672 h	$1,7 \pm 0,3$	$0,9 \pm 0,1$	$343,1 \pm 71,7$

Tabela-B.59: Valores médios de medições e incertezas, para cada instante.

Papel Mulberry	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Módulo de Young (MPa)
	T_{Max}	δ_{Max}	E
Não irradiado	$6,4 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,2$	$224,2 \pm 40,2$
168 h	$4,4 \pm 0,5$	$2,0 \pm 0,2$	$190,7 \pm 32,3$
342 h	$3,5 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,3$	$181,1 \pm 44,8$
510 h	$2,0 \pm 0,5$	$0,4 \pm 0,3$	$534,0 \pm 184,4$
709 h	$2,1 \pm 0,3$	$1,9 \pm 0,7$	$368,8 \pm 237,6$

Tabela- B.60: Valores médios de medições e incertezas, para cada instante.

C – Tabela dos Índices ΔE^* e IDC.

Para efeito de comparação, usando-se os dados da Tabela-A.45 à Tabela-A.52, calcula-se o ΔE^* e o IDC.

Papel Branco	ΔE^*	IDC
168 h	5,04	5,04
336 h	5,75	5,98
504 h	5,52	6,30
672 h	5,38	6,56

Tabela-C.61: Valores médios de medições do ΔE^ e do IDC, para cada instante.*

Papel Whatman	ΔE^*	IDC
183 h	1,08	1,08
351 h	0,77	1,40
519 h	0,45	1,78
687 h	0,75	2,19

Tabela-C.62: Valores médios de medições do ΔE^ e do IDC, para cada instante.*

Papel Maruishi	ΔE^*	IDC
168 h	0,15	0,15
338 h	0,25	0,42
508 h	0,55	0,74
659 h	0,54	0,89

Tabela-C.63: Valores médios de medições do ΔE^ e do IDC, para cada instante.*

Papel Tengujo	ΔE^*	IDC
168 h	0,31	0,31
367 h	0,84	0,88
535 h	0,82	0,95
709 h	0,33	1,50

Tabela-C.64: Valores médios de medições do ΔE^ e do IDC, para cada instante.*

Papel Sudare	ΔE^*	IDC
184 h	0,66	0,66
335 h	0,06	1,34
505 h	0,26	1,60
675 h	0,33	1,77

Tabela-C.65: Valores médios de medições do ΔE^ e do IDC, para cada instante.*

Papel Gampi	ΔE^*	IDC
168 h	1,67	1,67
336 h	1,06	3,66
504 h	1,36	4,59
672 h	1,25	5,58

Tabela-C.66: Valores médios de medições do ΔE^ e do IDC, para cada instante.*

Papel Okawara	ΔE^*	IDC
168 h	5,68	5,68
336 h	6,10	6,21
504 h	6,40	6,59
672 h	6,78	6,99

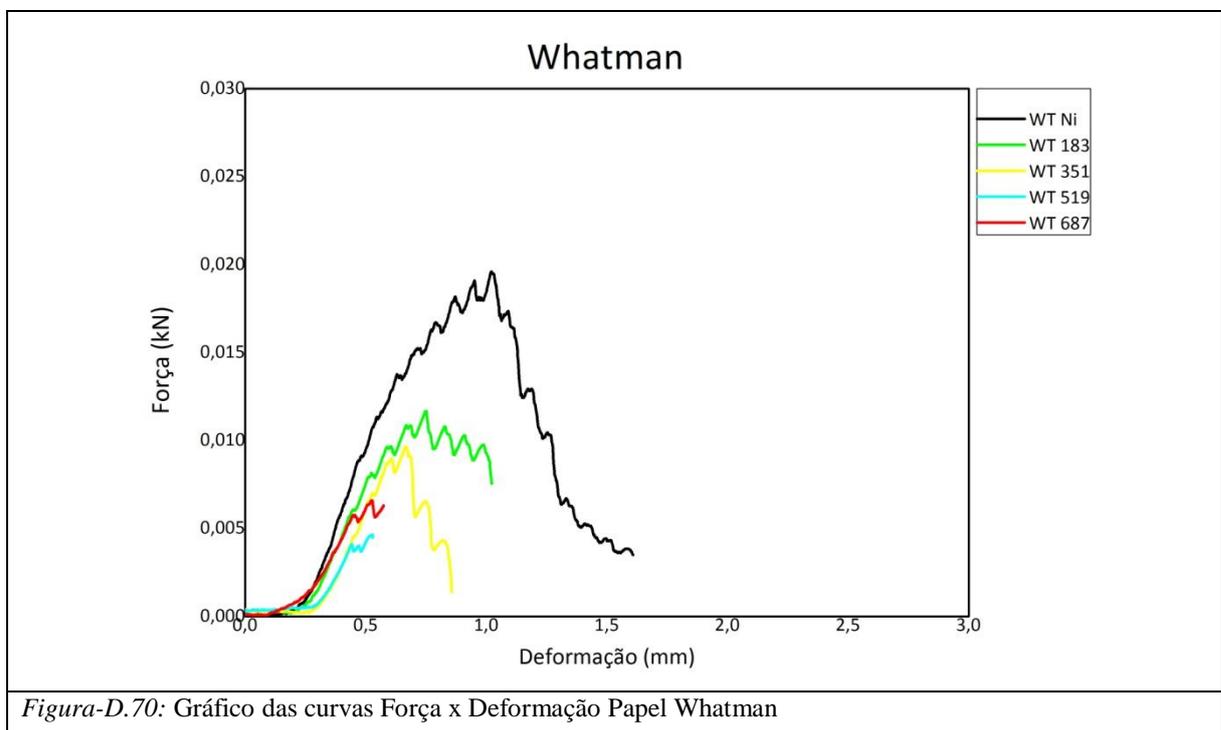
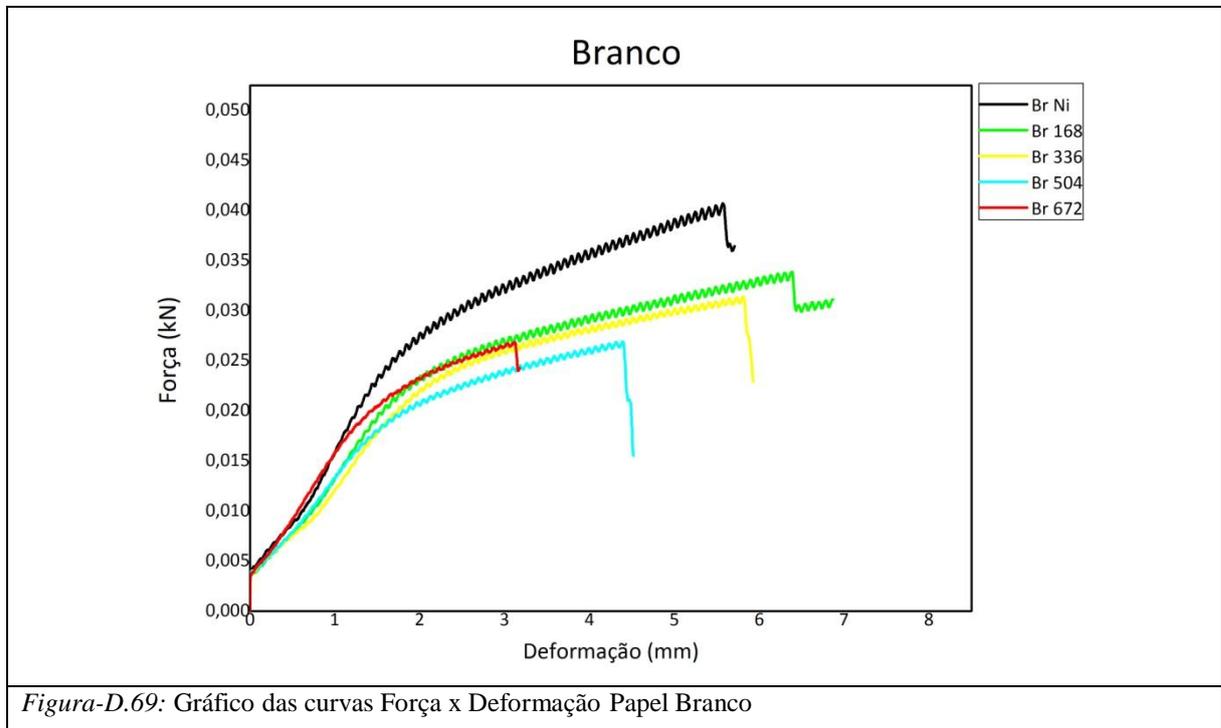
Tabela-C.67: Valores médios de medições do ΔE^ e do IDC, para cada instante.*

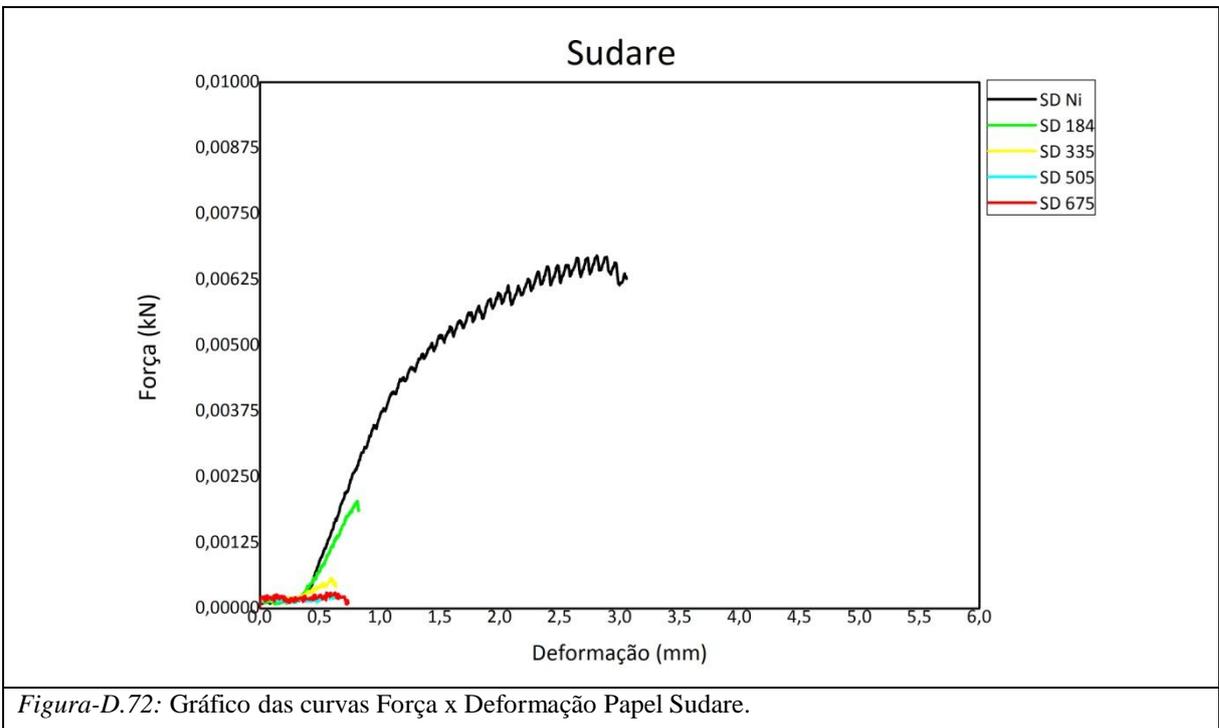
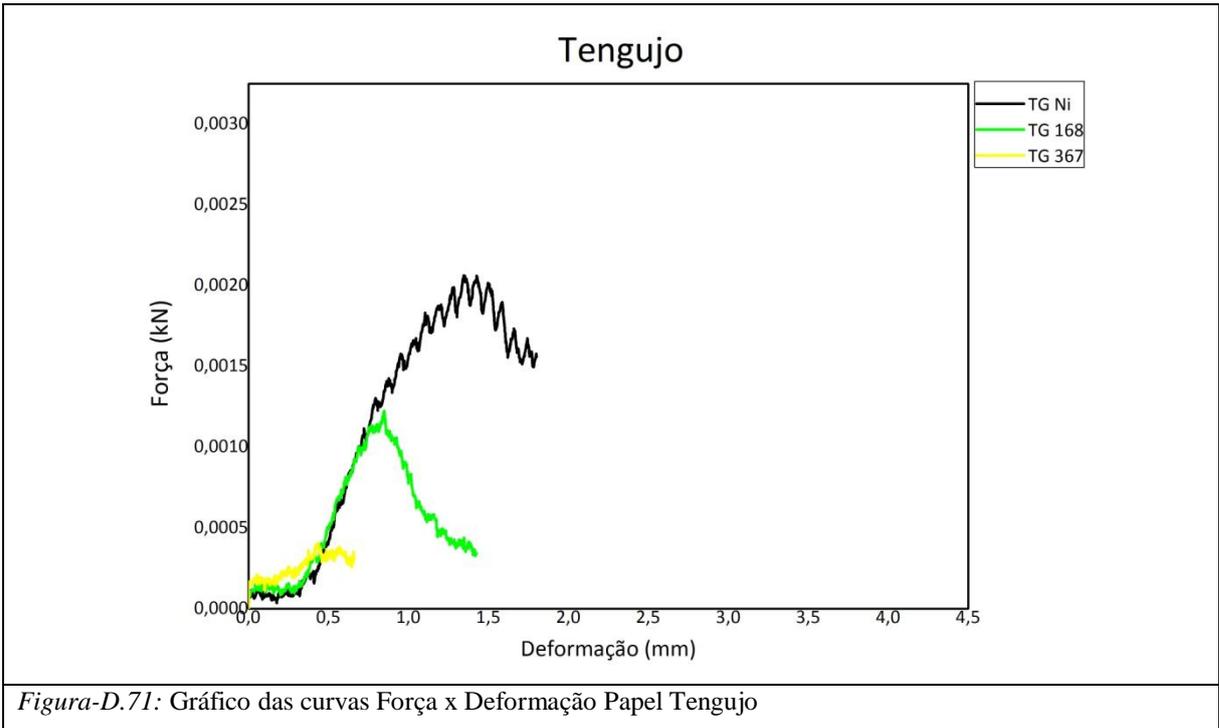
Papel Mulberry	ΔE^*	IDC
168 h	1,08	1,08
342 h	1,55	1,56
510 h	0,55	3,63
709 h	0,04	4,56

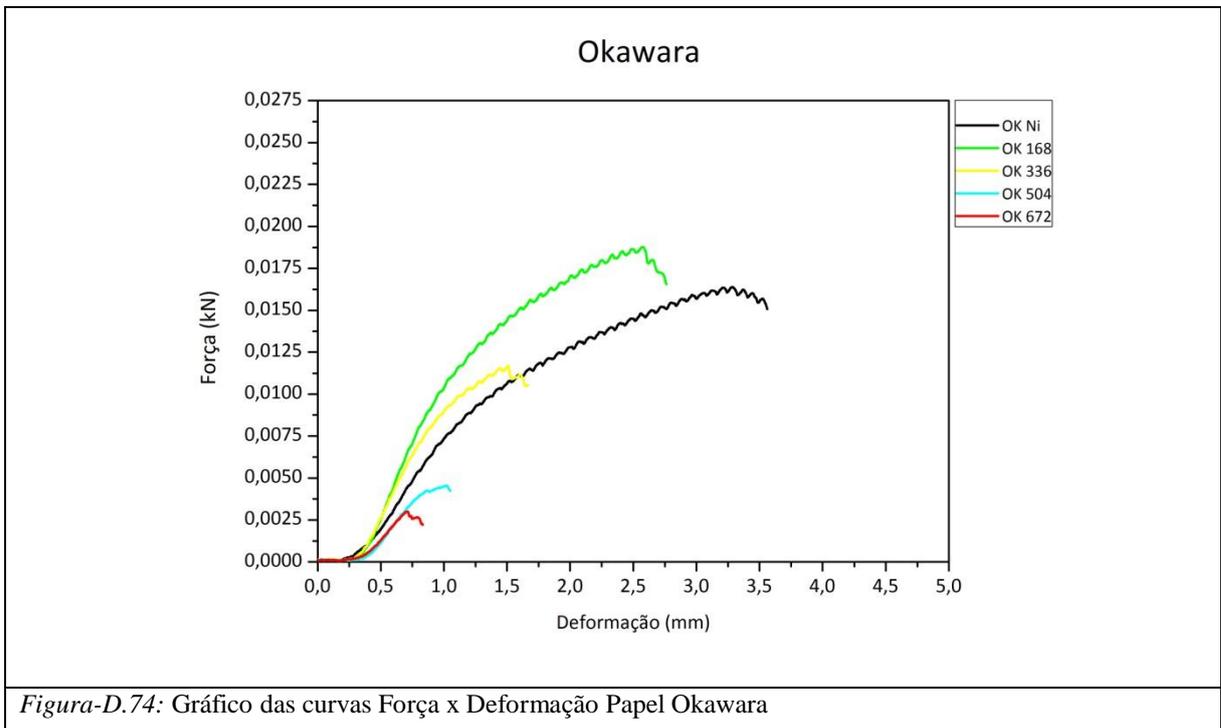
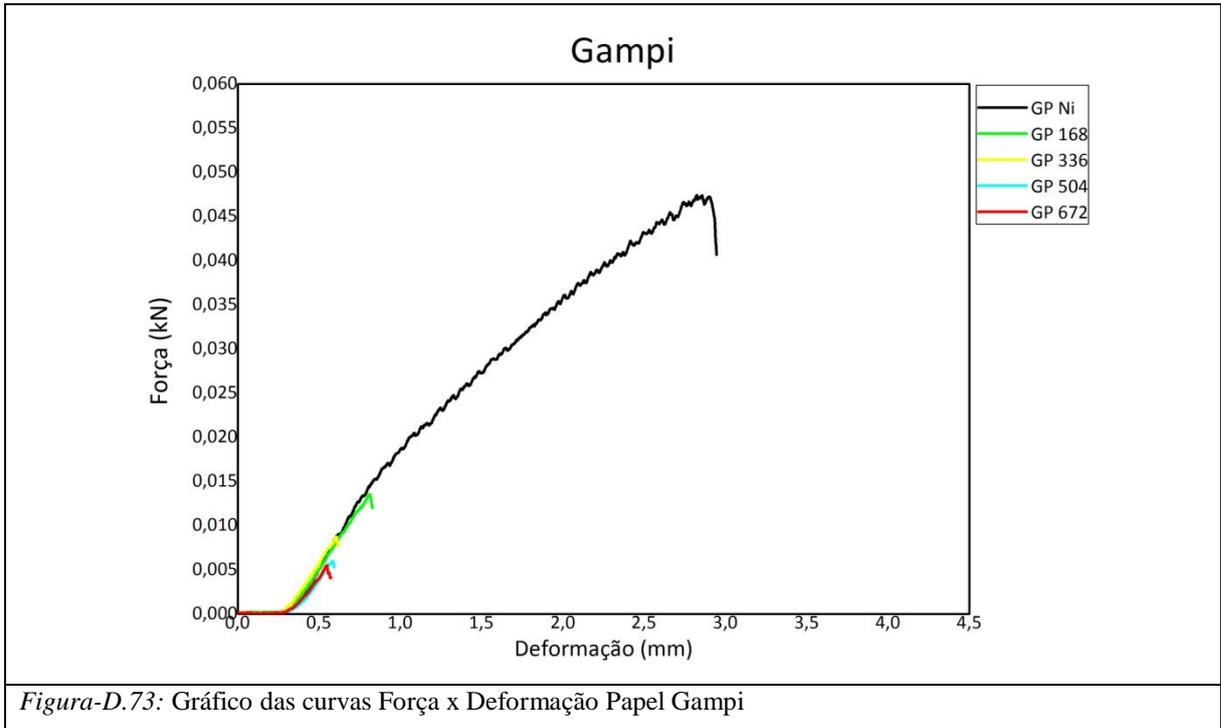
Tabela-C.68: Valores médios de medições do ΔE^* e do IDC, para cada instante.

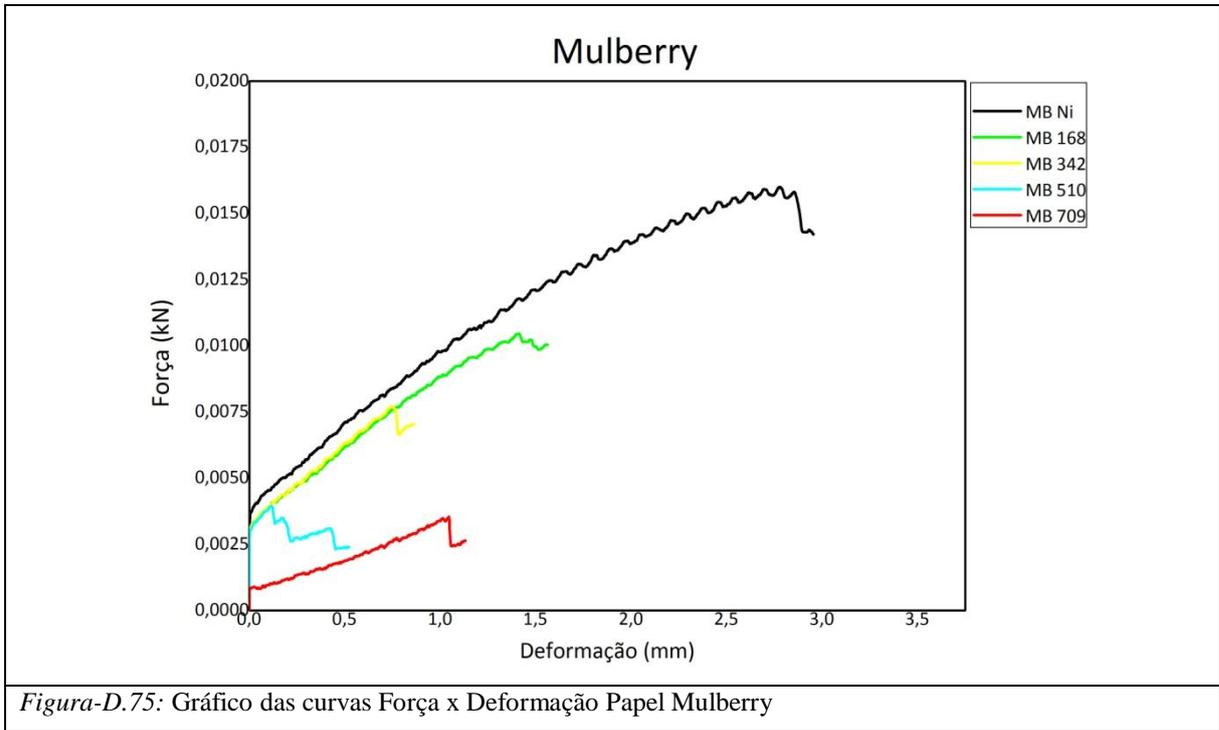
D – Gráfico: Força x Deformação.

As figuras seguir, ilustram as curvas Força x Deformação obtidas a partir dos testes de tração mecânica e tratadas no Software OringinPro 9, a fim de ilustrar uma curva “media” para diferentes tempos de irradiação sofrido pelas amostras.









Observação: A ausência do Papel Maruishi nesta serie de gráficos foi devido ao equipamento usado para as medições de tração mecânica não possibilitar a sensibilidade necessária para medi-lo sem irradiação e agravado pela fragilidade produzida após a irradiação, o que solicita outro tipo de equipamento, não disponível no decurso da pesquisa.

E– Imagem Fotográfica.

A seguir, ilustram-se através de imagens fotográficas coloridas, as amostras dos Papéis objetos da pesquisa após o uso nas medições. Importante frisar que essas imagens apesar terem seus arquivos originais tratados digitalmente a fim de corrigir o “White Balance”, a impressão em papel fica prejudicada por limitações técnicas dos equipamentos e apenas na versão digital dessa dissertação se poderá ter uma visualização mais fiel da realidade.

Papel Branco:

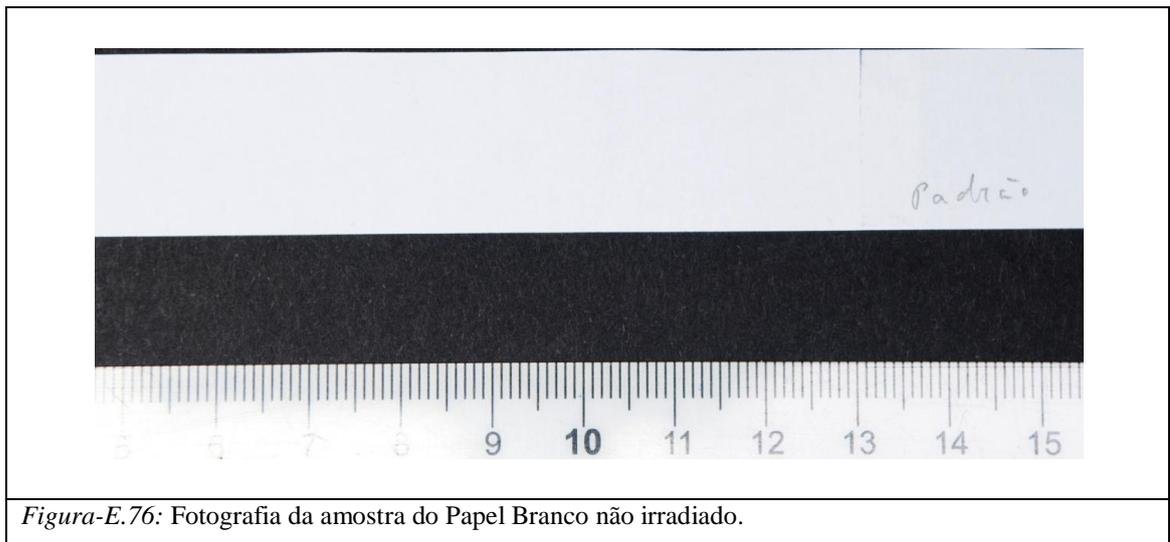


Figura-E.76: Fotografia da amostra do Papel Branco não irradiado.

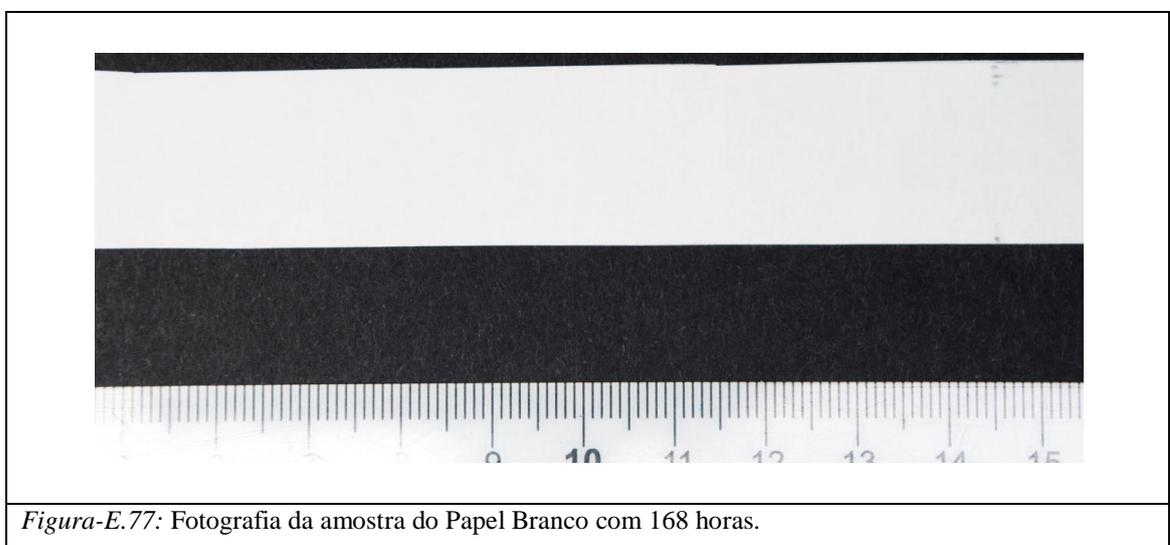
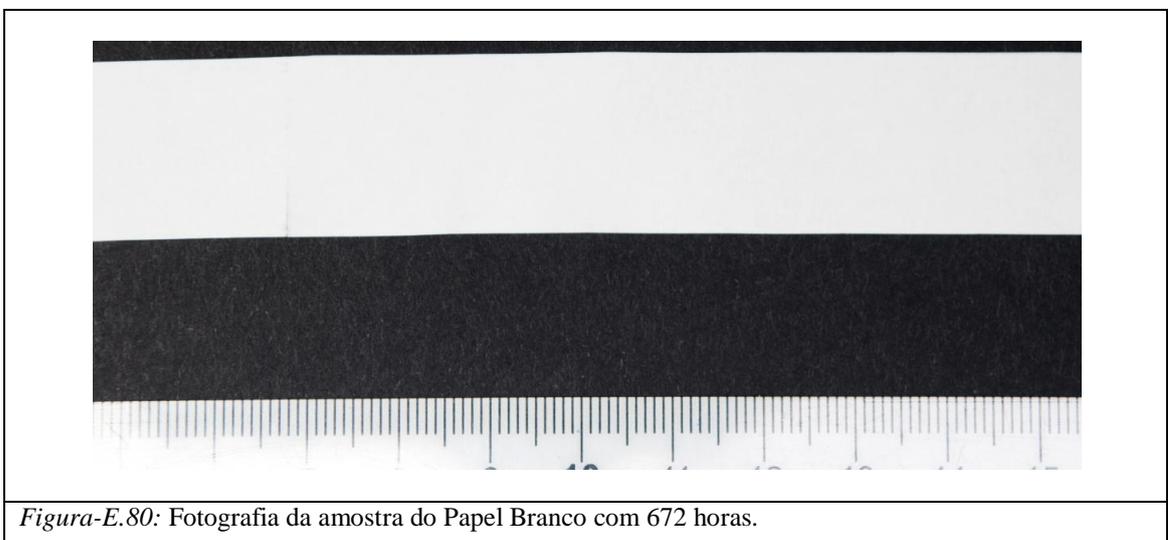
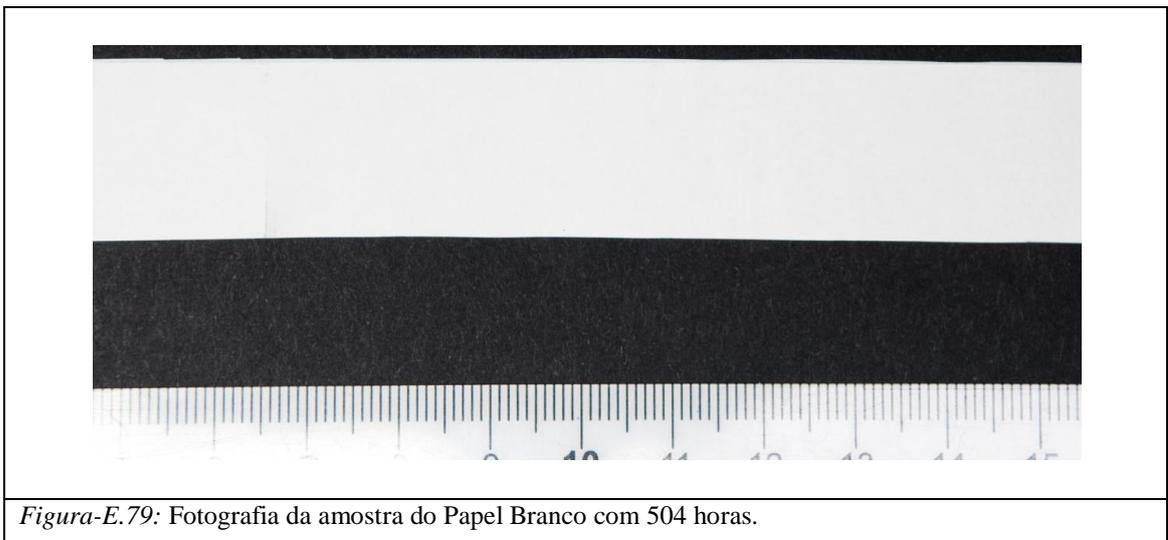
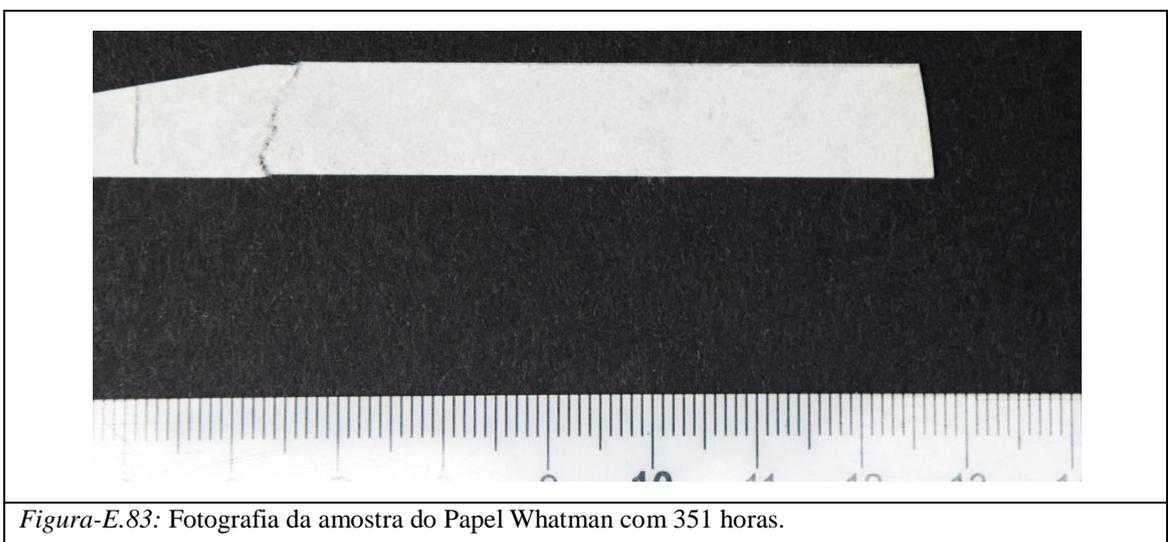
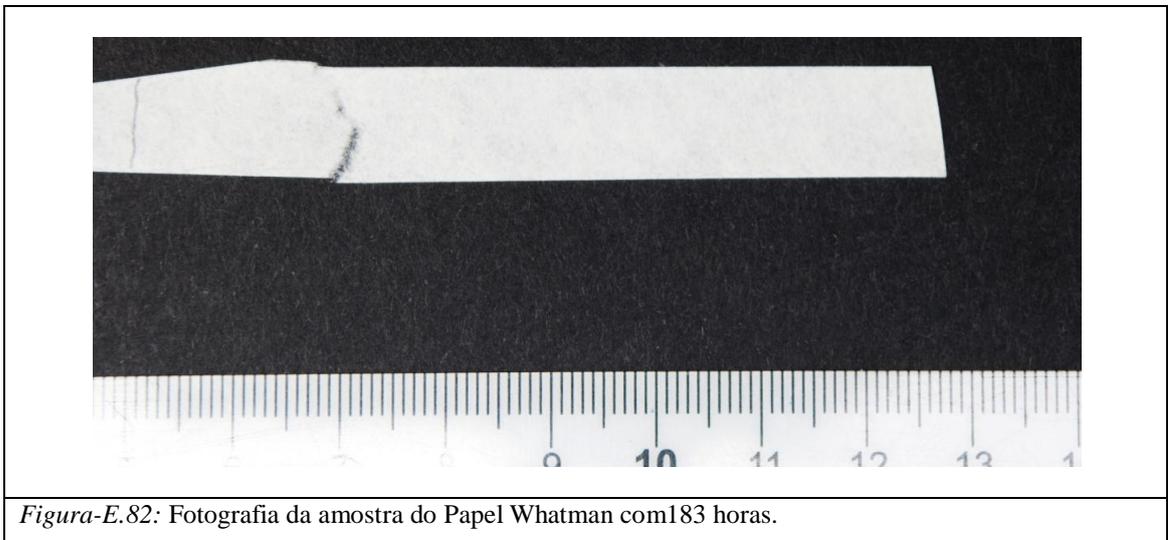


Figura-E.77: Fotografia da amostra do Papel Branco com 168 horas.



Papel Whatman:

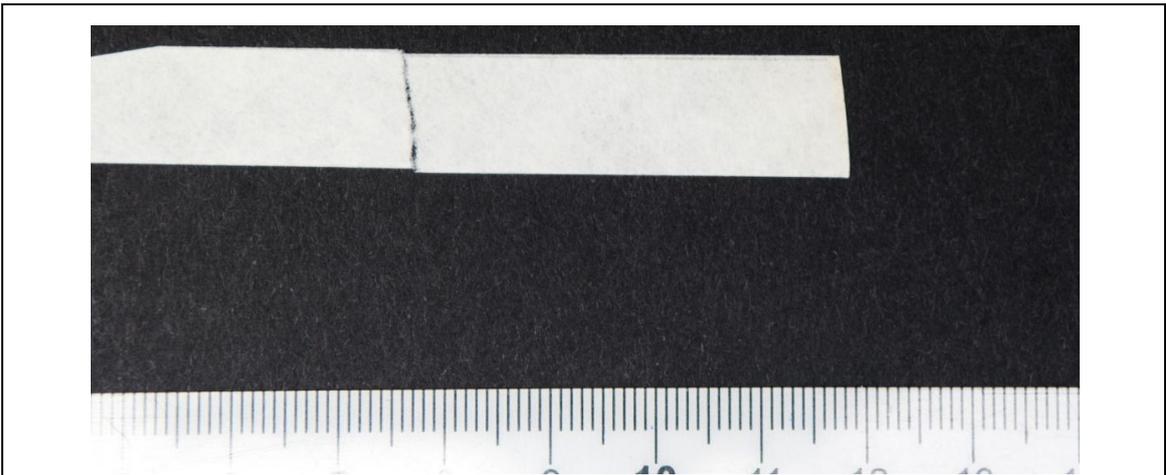


Figura-E.84: Fotografia da amostra do Papel Whatman com 519 horas.

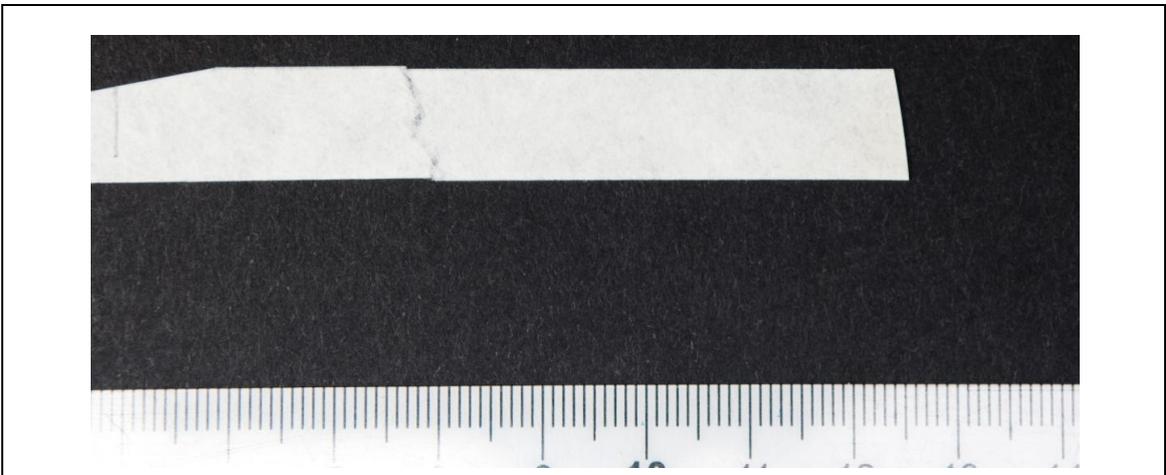
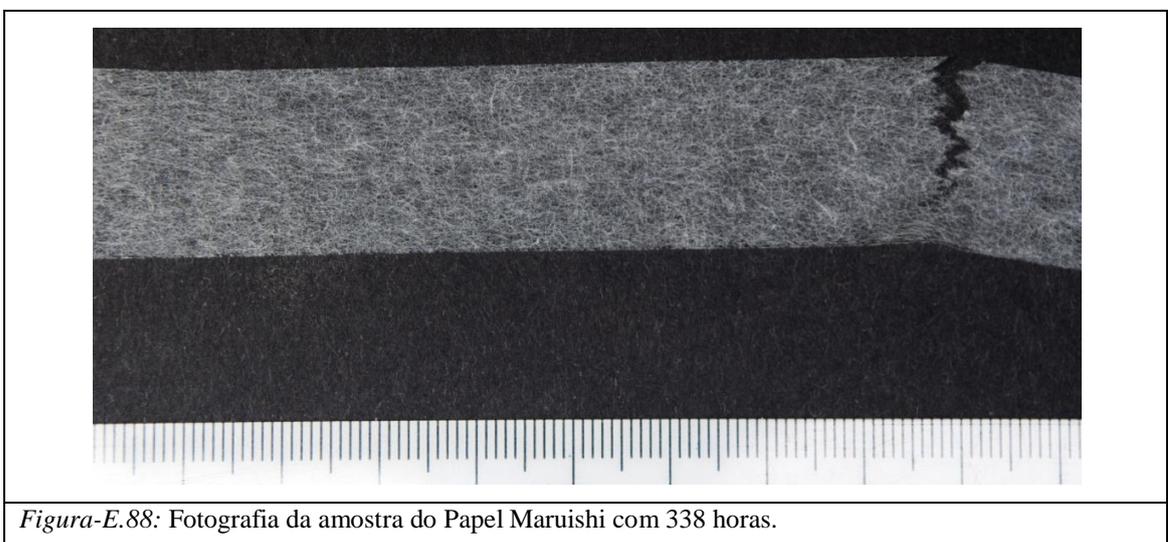
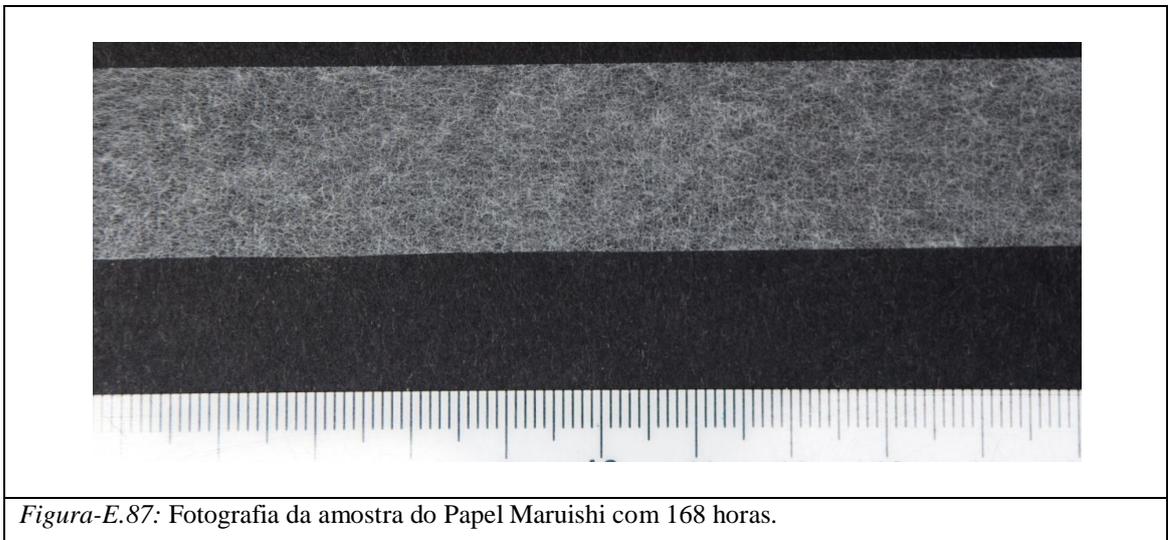
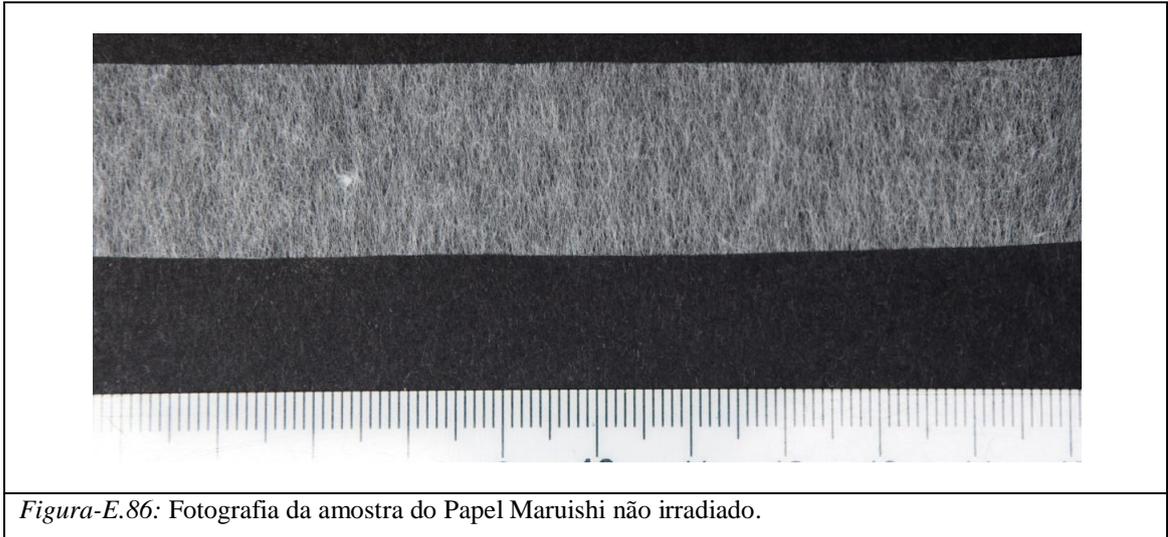


Figura-E.85: Fotografia da amostra do Papel Whatman com 687 horas.

Papel Maruishi:

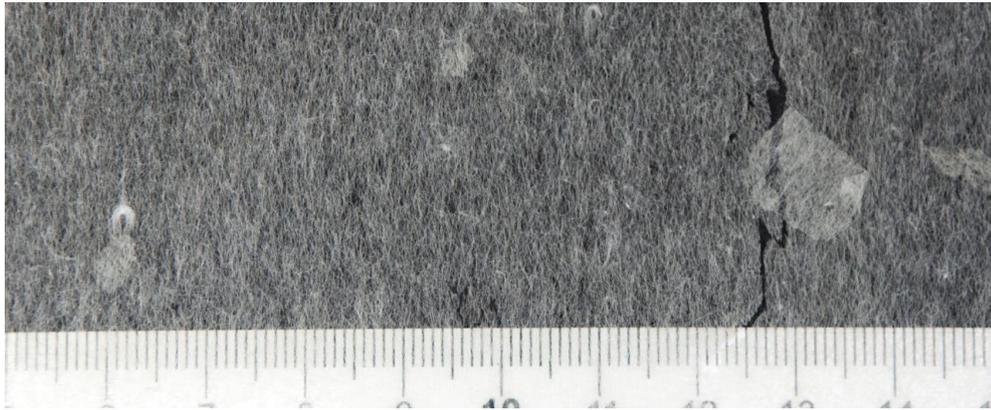


Figura-E.89: Fotografia da amostra do Papel Maruishi com 508 horas.

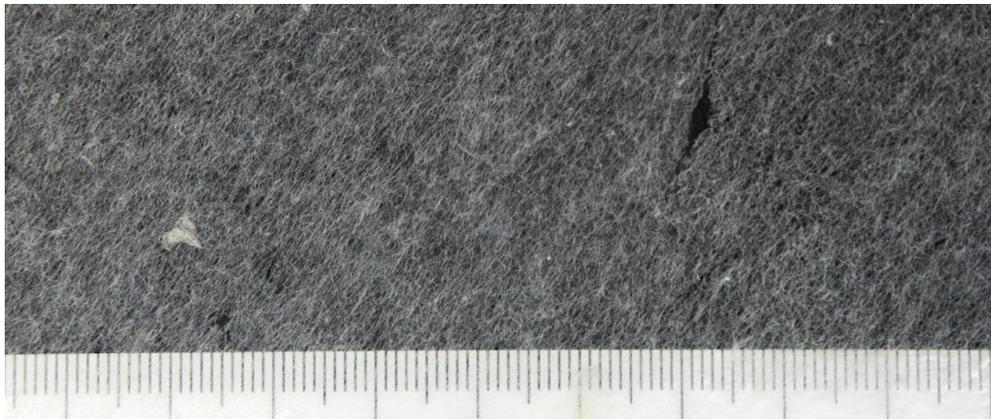
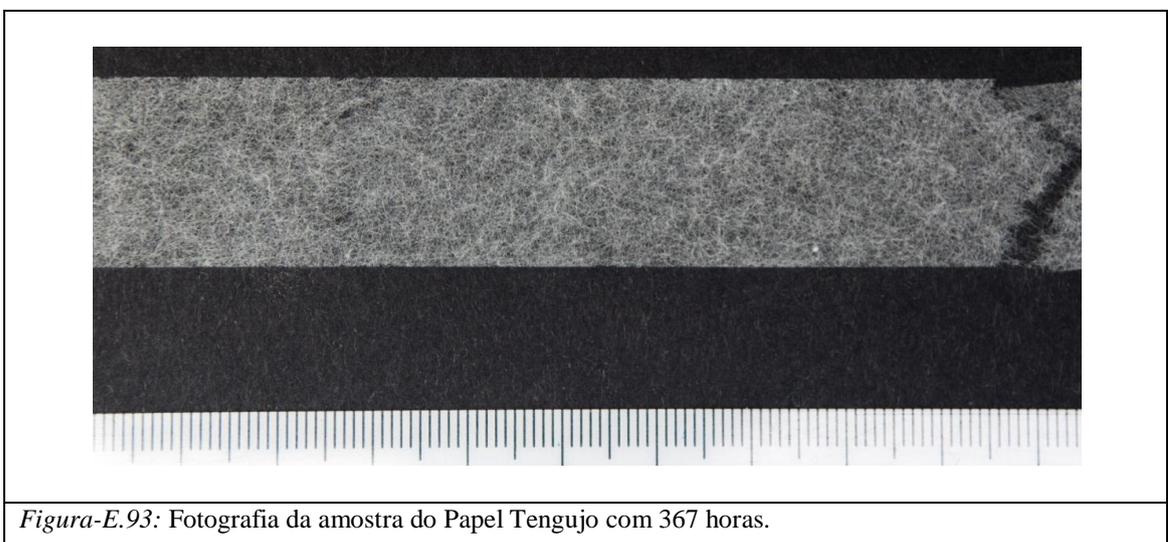
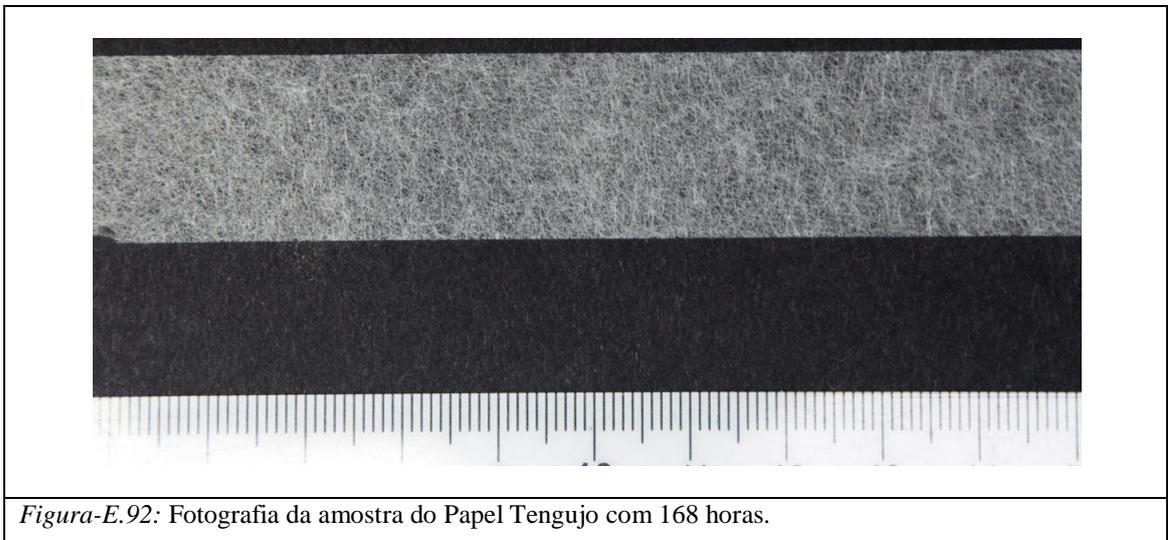
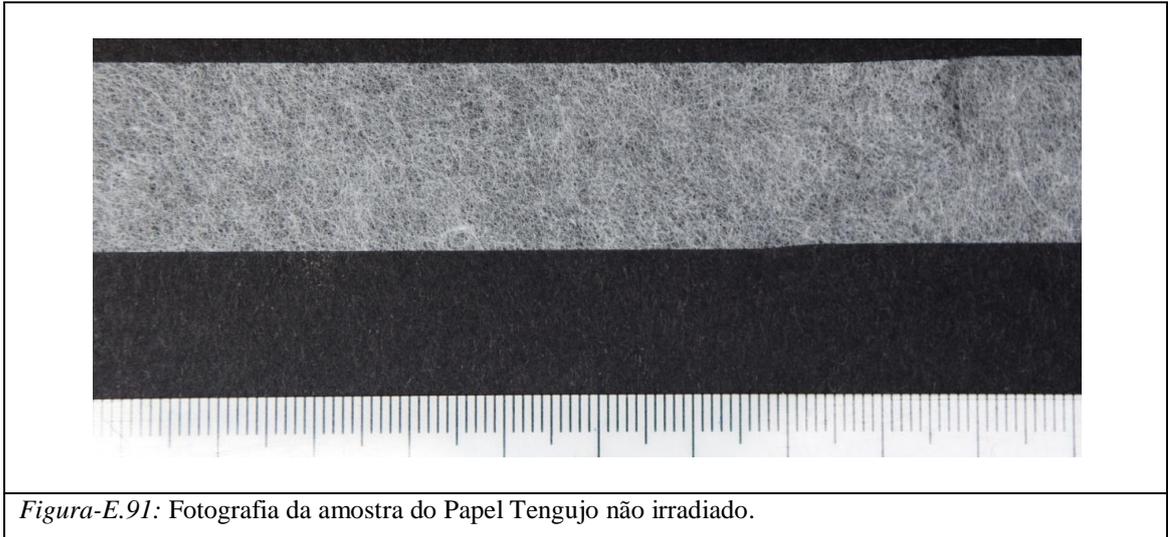


Figura-E.90: Fotografia da amostra do Papel Maruishi com 672 horas.

Papel Tengujo:

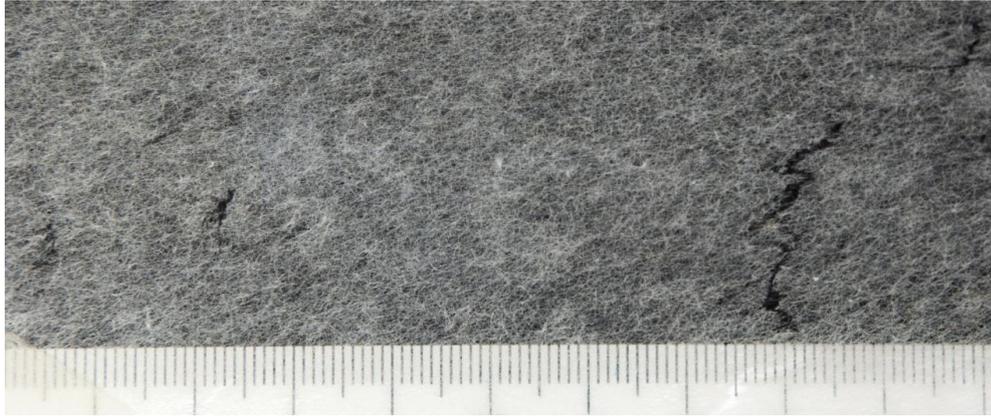


Figura-E.94: Fotografia da amostra do Papel Tengujo com 537 horas.

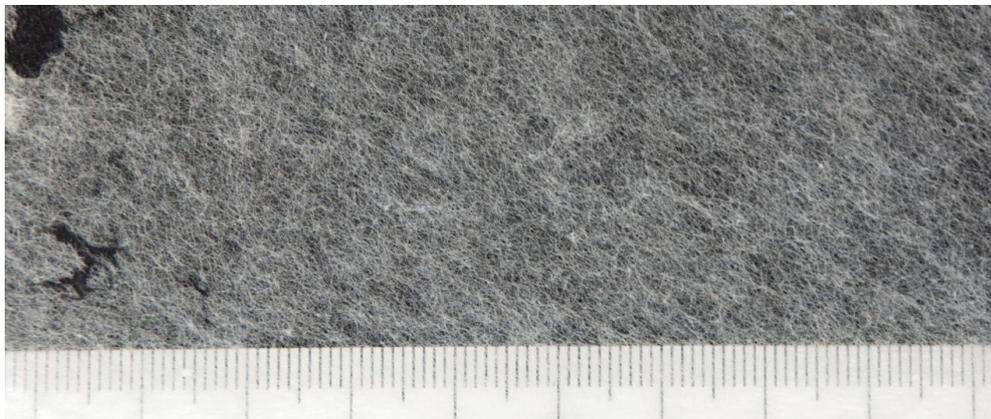


Figura-E.95: Fotografia da amostra do Papel Tengujo com 709 horas.

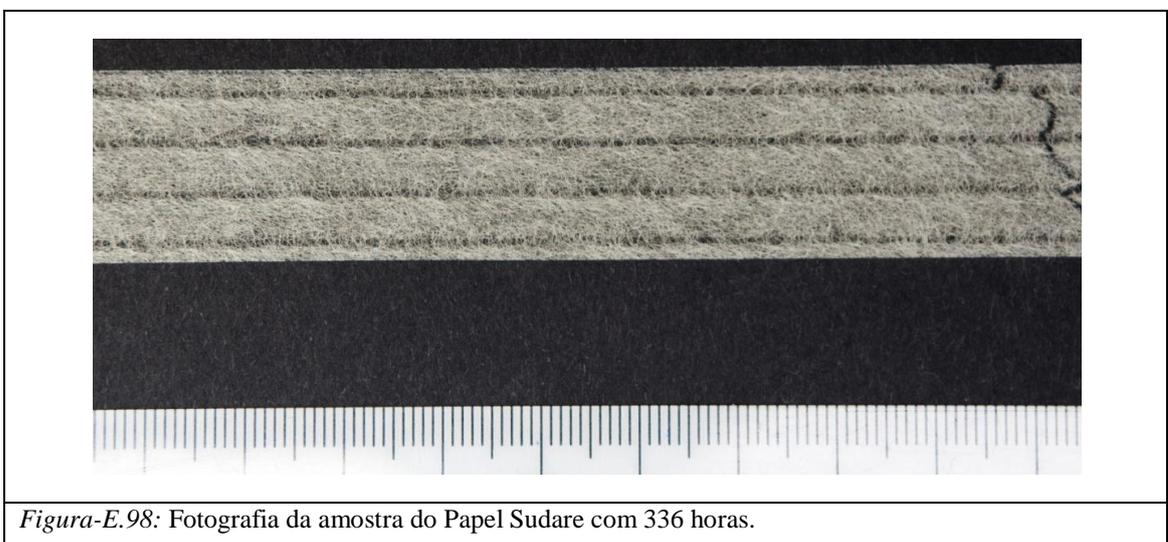
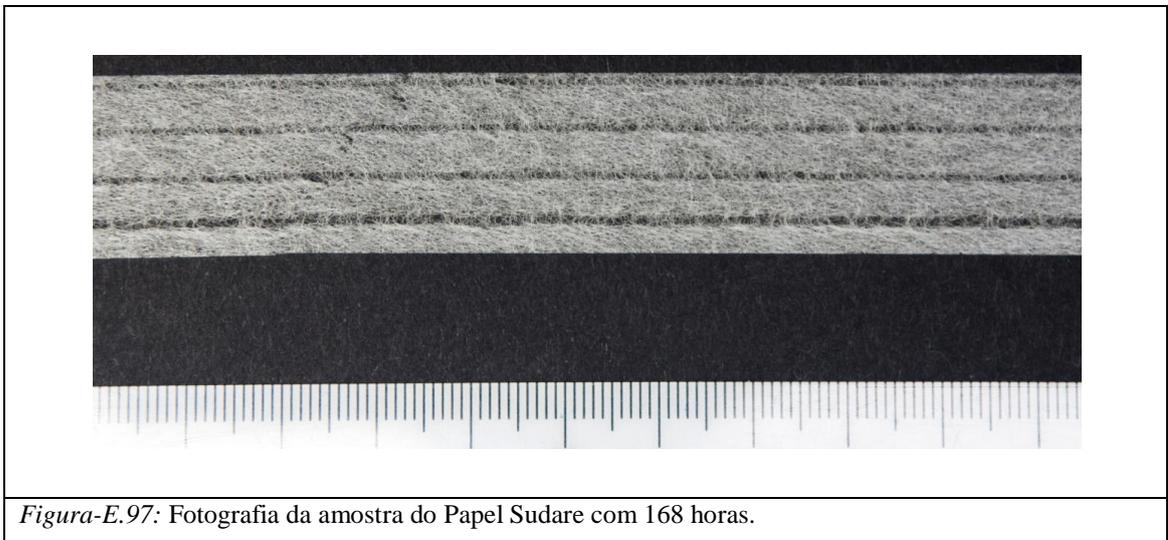
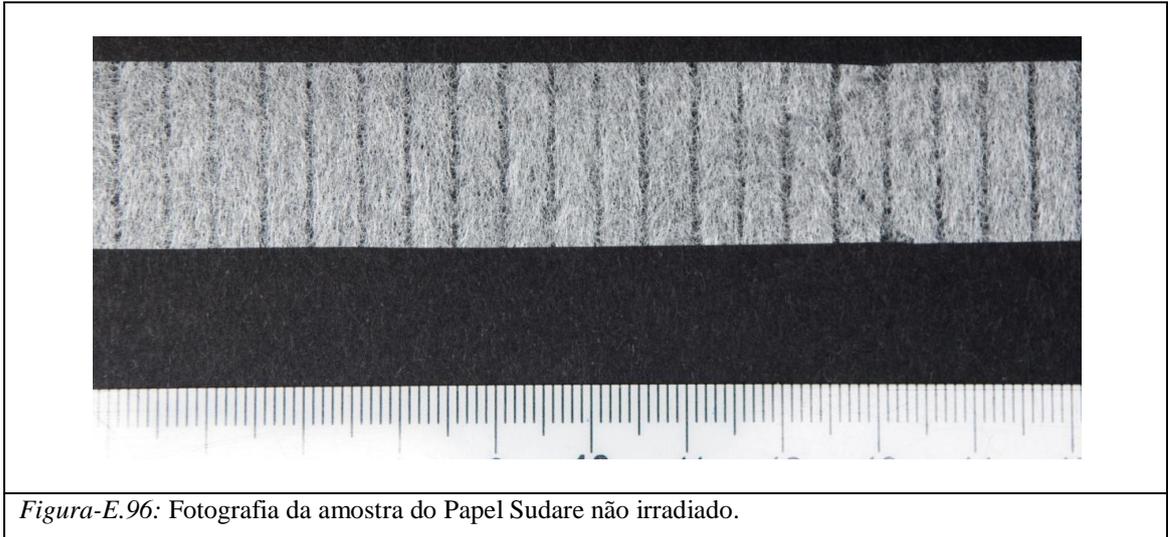
Papel Sudare:



Figura-E.99: Fotografia da amostra do Papel Sudare com 504 horas.

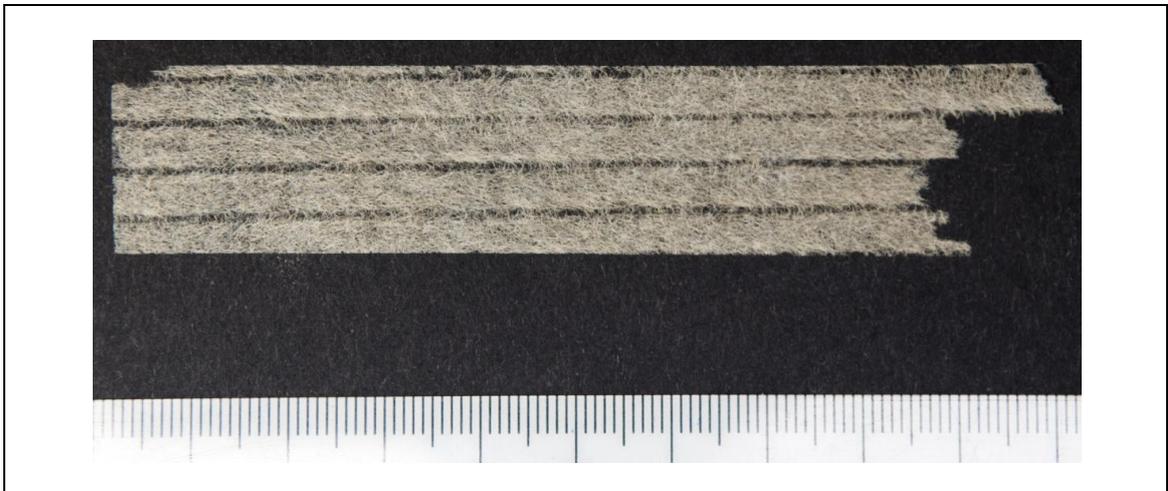


Figura-E.100: Fotografia da amostra do Papel Sudare com 672 horas.

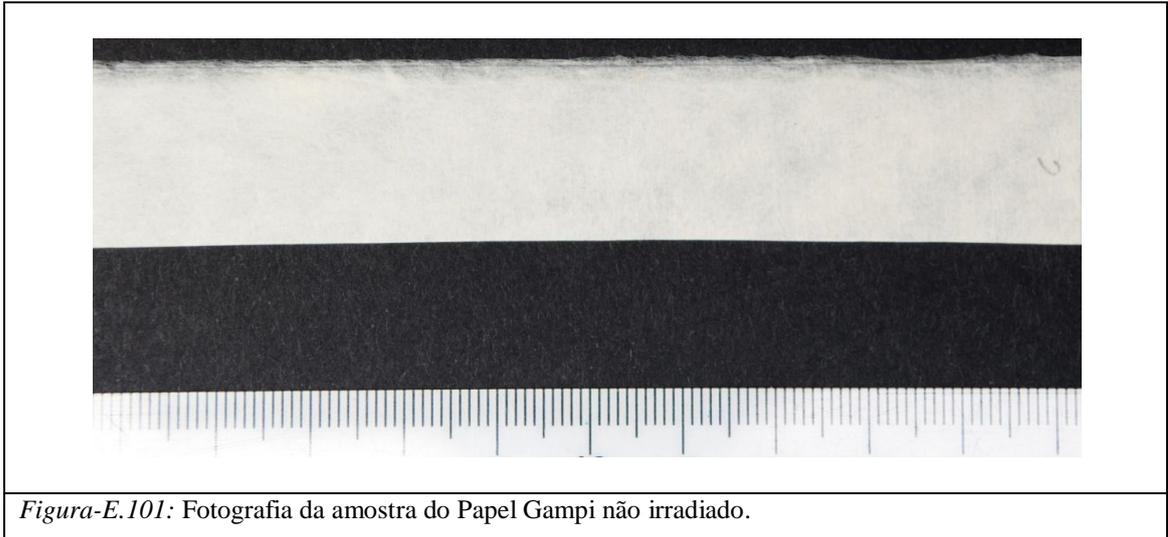
Papel Gampi:

Figura-E.101: Fotografia da amostra do Papel Gampi não irradiado.

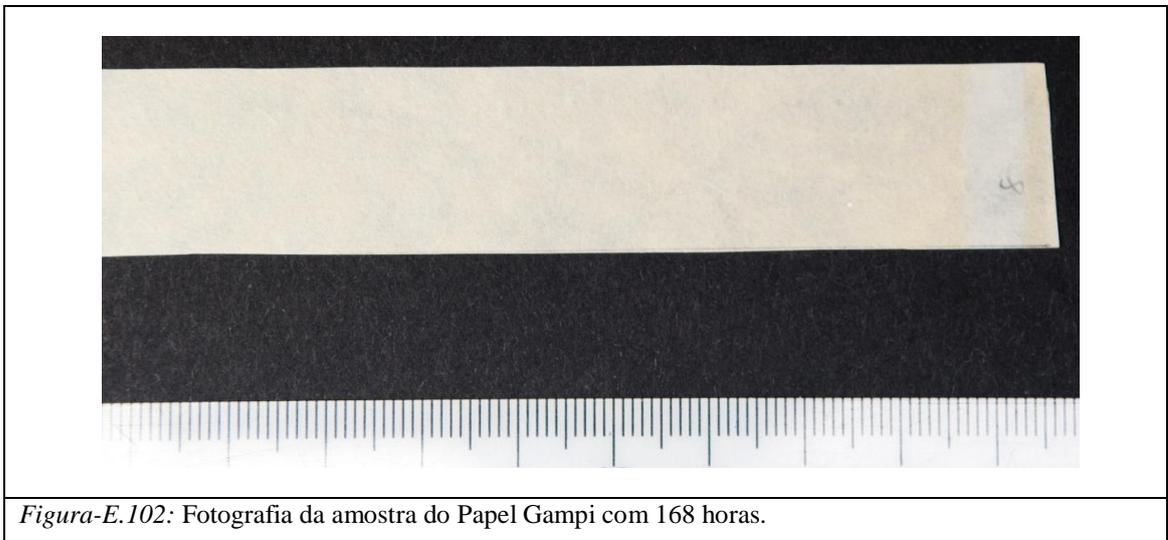


Figura-E.102: Fotografia da amostra do Papel Gampi com 168 horas.

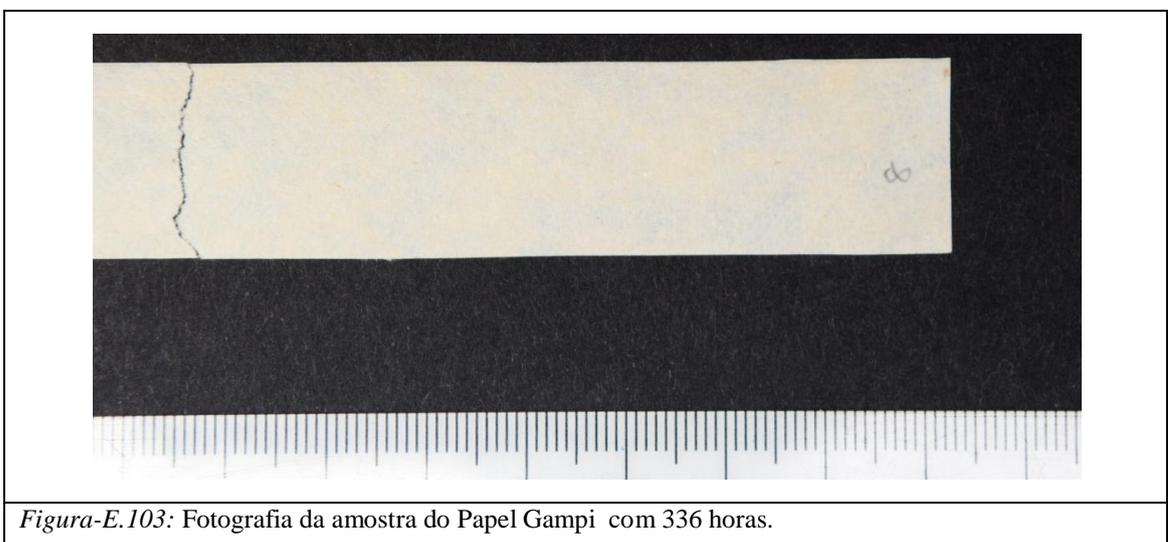


Figura-E.103: Fotografia da amostra do Papel Gampi com 336 horas.

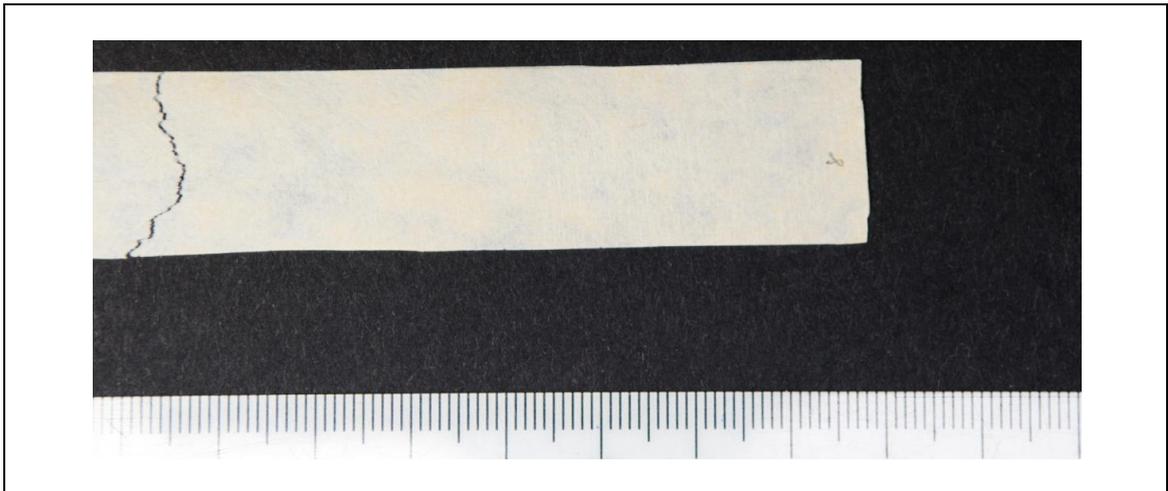
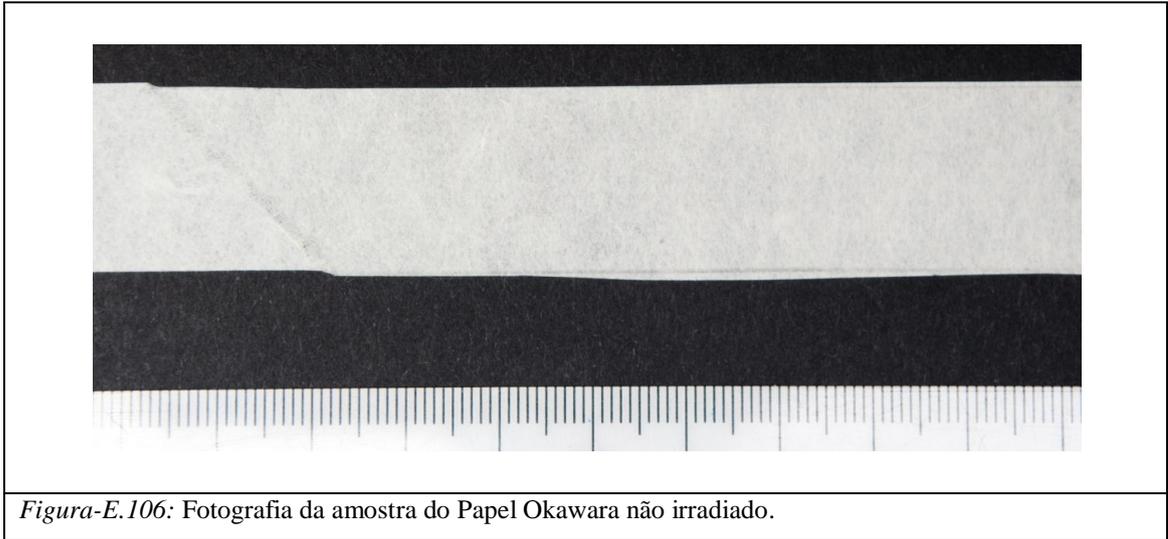


Figura-E.104: Fotografia da amostra do Papel Gampi com 504 horas.



Figura-E.105: Fotografia da amostra do Papel Gampi com 672 horas.

Papel Okawara:

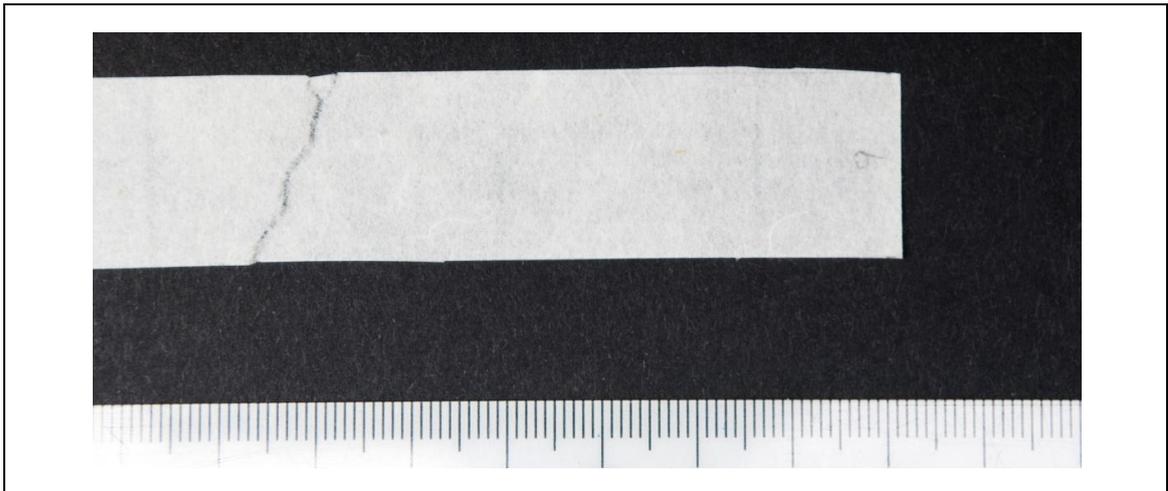


Figura-E.109: Fotografia da amostra do Papel Okawara com 504 horas.

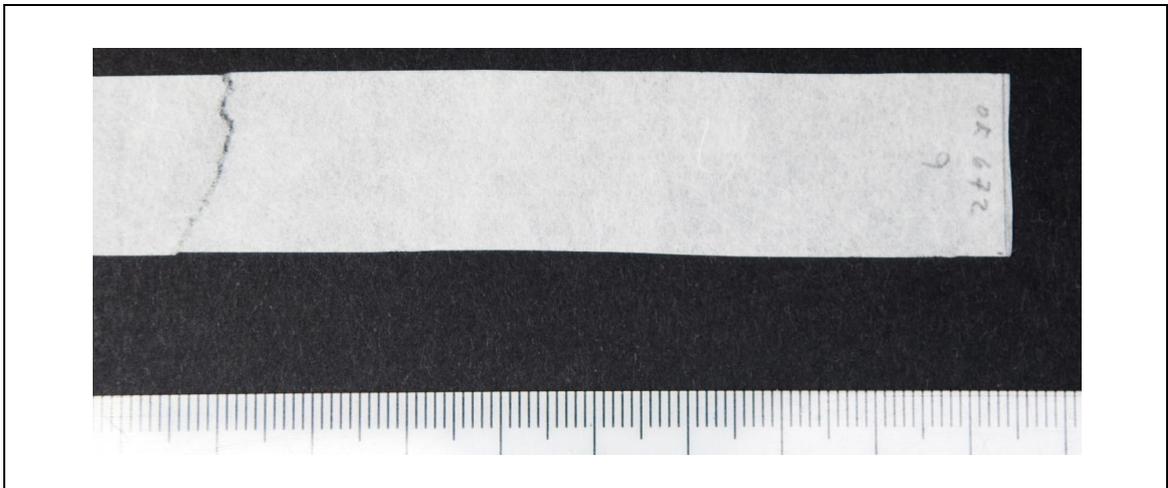


Figura-E.110: Fotografia da amostra do Papel Okawara com 672 horas.

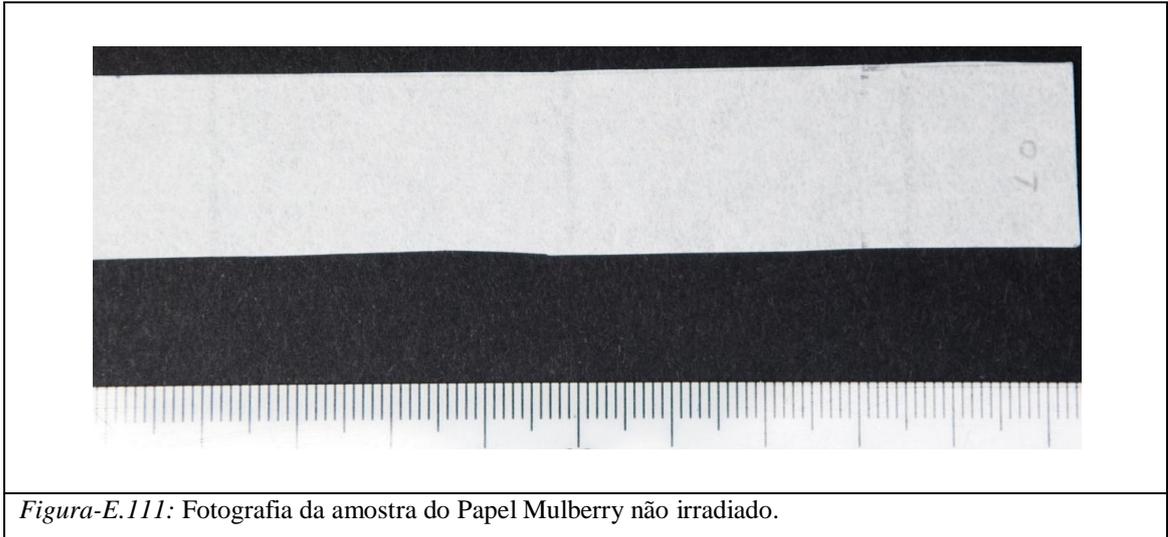
Papel Mulberry:

Figura-E.111: Fotografia da amostra do Papel Mulberry não irradiado.

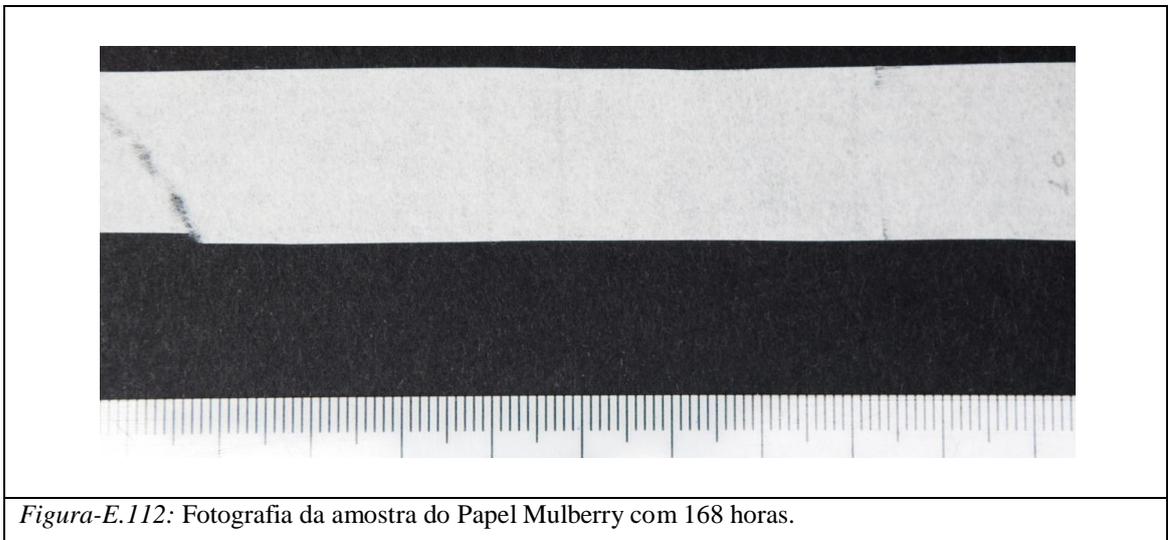


Figura-E.112: Fotografia da amostra do Papel Mulberry com 168 horas.

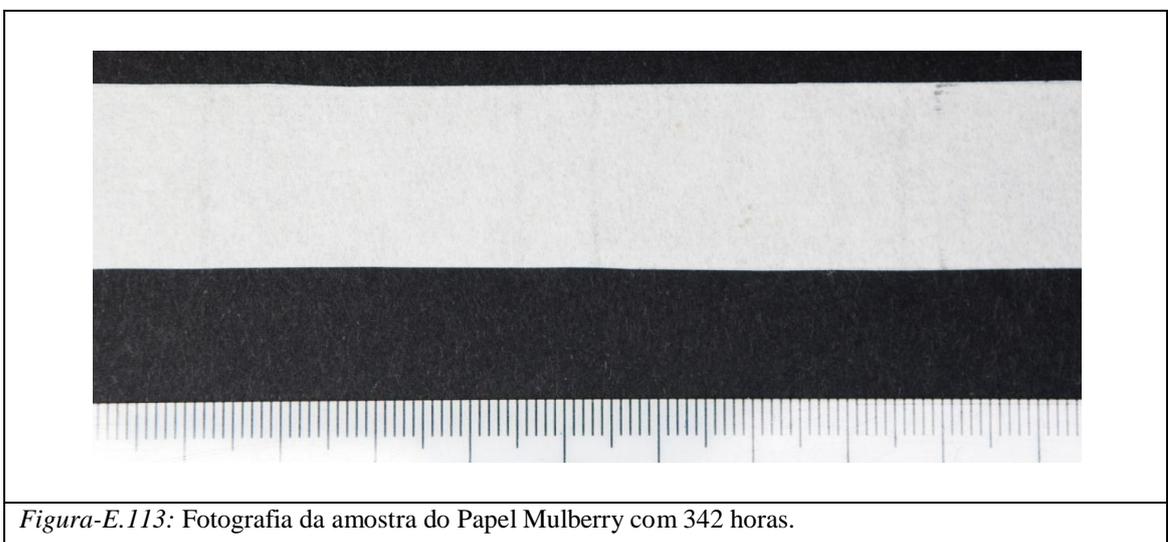
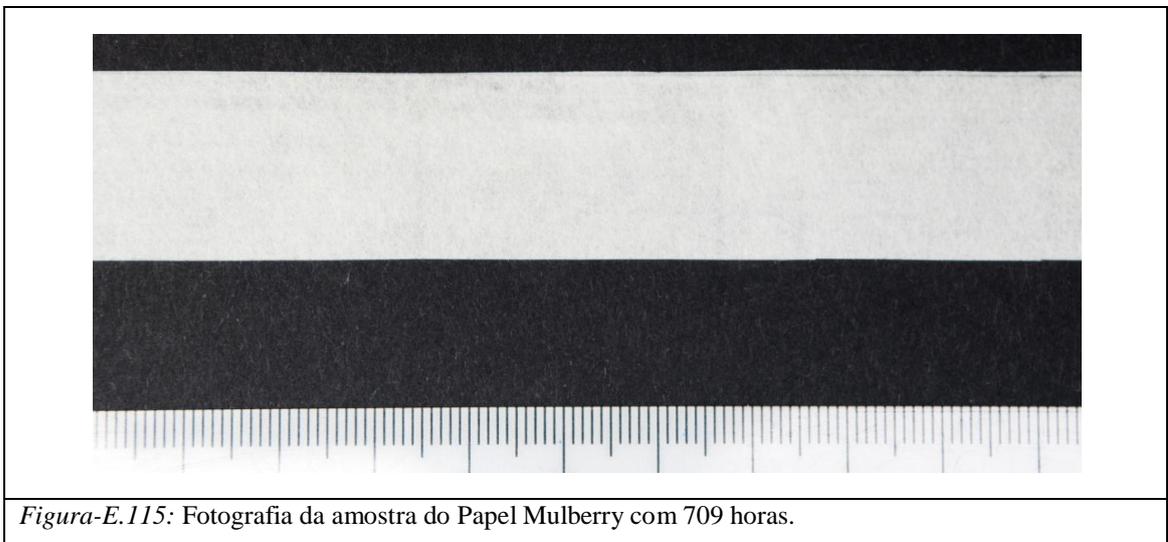
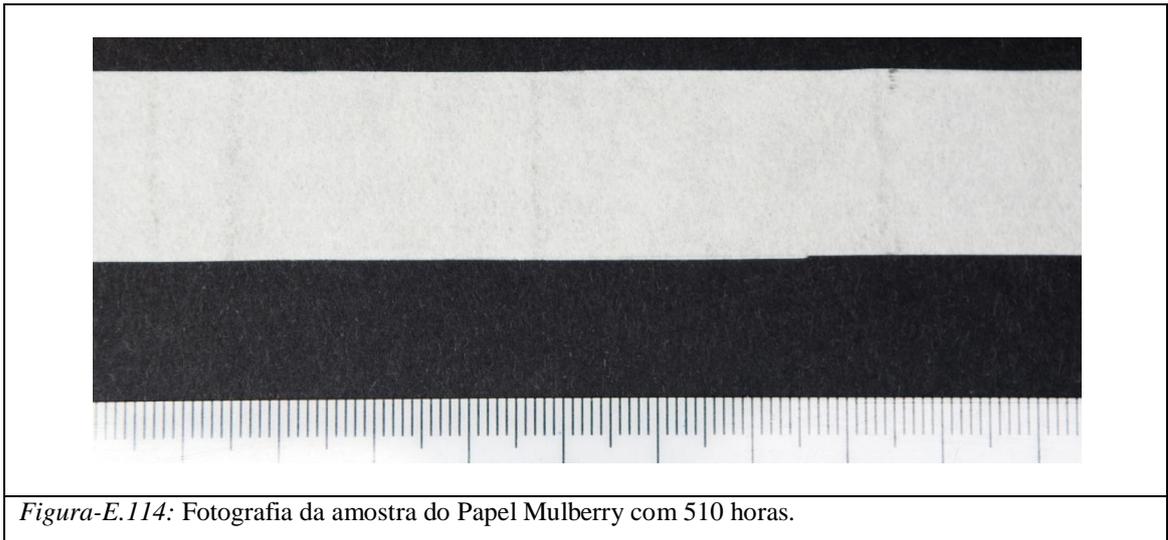


Figura-E.113: Fotografia da amostra do Papel Mulberry com 342 horas.



F – Colorímetro.

G – Equipamento Medidor de Tração Mecânica.

Figura-G.117: Fotografia da Máquina Universal de Ensaio, Modelo WDW 2E.



Figura-G.118: Fotografia das garras, tipo 1 e 2, ilustrando a ruptura do papel .