

**FERNANDA SIMONI SCHUCH**

**ANÁLISE DA REDE FLUVIAL EM DIFERENTES ESCALAS UTILIZANDO A TEORIA  
FRACTAL E PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

**FLORIANÓPOLIS, 2011**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
ÁREA: CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL

**ANÁLISE DA REDE FLUVIAL EM DIFERENTES ESCALAS UTILIZANDO A TEORIA  
FRACTAL E PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

*Tese submetida e aprovada na  
Universidade Federal de Santa  
Catarina como pré-requisito para a  
obtenção de título de doutor em  
Engenharia Civil*

**Doutoranda: Fernanda Simoni Schuch  
Orientador: Prof. Dr. Carlos Loch**

**Florianópolis, 2011**



## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de uma pesquisa realizada no decorrer de seis anos e sua finalização ocorreu em função do auxílio que tive de instituições e pessoas as quais desejo agradecer.

A Deus em primeiro lugar.

Ao meu marido Alfredo que sempre me incentivou a seguir a área acadêmica, sempre compreendendo nos momentos em que precisei me fazer ausente para me dedicar à pesquisa, por seu amor incondicional.

Aos meus pais Silvério e Terezinha que sempre incentivaram o estudo como prioridade na minha educação fazendo com que eu me tornasse a pessoa que sou hoje. A eles devo tudo o que tenho e que sou. À minha irmã Silvia que se faz presente em todos os momentos mesmo distante.

Ao prof. Carlos, meu orientador, que sempre foi mais que um professor, faz parte de minha como minha família, é meu pai científico o qual me ensinou tudo o que sei sobre a carreira acadêmica nestes bem vividos doze anos em que passei no LabFSG da UFSC. Muitas foram as batalhas mas as vencemos juntas, obrigada!

A todos meus amigos e amigas mas em especial à Michelle, Karin e Paula que são como irmãs que a vida colocou no meu caminho com quem sempre pude contar em todos os momentos.

Aos muitos amigos que fiz na UFSC ao longo de todos os anos que lá passei mas em especial aos do LabFSG. Em especial, agradeço pela companhia e pelas horas de conversa e discussão com Nora e Emanuele.

Quero também agradecer ao apoio do Dr. Alexandre Hering Coelho cujo auxílio foi imprescindível para a realização desta pesquisa.

À Empresa Aeroimagem s/a e à Prefeitura Municipal de Joinville por terem compreendido que ceder dados à pesquisa é acreditar no futuro do país, acreditar que é possível mudar o estado das coisas a partir do conhecimento e do desenvolvimento científico. Da mesma forma ao Presidente da Sociedade Brasileira de Cartografia Paulo César Trino pelo incentivo que dá à pesquisa no Brasil e em especial pelo incentivo à esta pesquisa em particular.

À esta universidade e a este programa de pós-graduação por me acolherem e possibilitarem a realização desta pesquisa bem como aos membros da banca que se dispuseram a avaliar este trabalho. Ao técnico administrativo Edi Assini Júnior pelo apoio e dedicação às pesquisas do LabFSG.

A todos àqueles que de alguma forma auxiliaram na realização desta pesquisa direta ou indiretamente um muito obrigada!



# **ANÁLISE DA REDE FLUVIAL EM DIFERENTES ESCALAS UTILIZANDO A TEORIA FRACTAL E PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

FERNANDA SIMONI SCHUCH

Tese julgada como adequada para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil (Dr. Eng) e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.  
Sessão pública de 04 de março de 2011.

Profa. Dra. –Ing. Janaide Cavalcante Rocha – Coordenadora do PPGEC

Prof. Dr. Carlos Loch – Orientador

## **Comissão Examinadora:**

Prof. Dr. Carlos Loch – moderador UFSC

Prof Dr. Carlos André Bulhões Mendes – UFRGS

Dr. James J. Griffith - UFV

Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira - UDESC

Alexandre Hering Coelho – Dr-Ing. - UFSC

Prof. Jürgen W. Phillips – Dr-Ing. - UFSC



## RESUMO

Fundamentando-se na teoria dos fractais este volume traz os resultados, análises e novas perspectivas acerca da sua aplicação da referida teoria em análise de redes de drenagem. A área de estudos escolhida para aplicação da metodologia é a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, está localizada no município de Joinville no Estado de Santa Catarina, Brasil. Foram utilizados dados da rede de drenagem da área de estudo na forma vetorial obtidas de bases cartográficas, radar (SRTM) e laserscanning. Para gerar a informação fractal dos dados utilizou-se o método Box-counting através do qual se calculou a dimensão fractal dos dados de entrada em 2D e 3D. O método foi aplicado de maneira manual, onde se realizaram etapas passo a passo, em softwares proprietários e em software gerado a partir de ferramentas livres disponíveis na rede mundial de computadores o qual foi denominado 'Bacia Fractal'. Os resultados quantificam as diferenças entre os valores de dimensão fractal obtidas para os dados de entrada provenientes de diferentes produtos do sensoriamento remoto utilizados bem como para os dados planimétricos e planialtimétricos.

**Palavras chave:** rede fluvial, teoria fractal, sensoriamento remoto, bacia hidrográfica, dimensão fractal.



## ABSTRACT

Based on the fractal theory this volume presents the results, analyses and new perspectives about that theory application concerning to drainage network. The study area chosen to apply the method is the Cachoeira's River Basin, it is located in Joinville municipality at Santa Catarina's State, Brazil. The drainage network data used to represent the study area in the vectorial form were obtained through base map, radar (SRTM) and laserscanning. To output the fractal information from the data the box-counting method were used to calculate the fractal dimension from the 2D and 3D input data. The method were applied manually, were it happened step by step, in propriotor software and in a software developed from free tools available on the world wild web which was named 'bacia fractal'. The results measure the differences between the fractal dimension values obtained to the input data originated from the planimetric and altimetric data.

**Key-words:** fluvial network, fractal theory, remote sensing, hydrographic basin, fractal dimension.



## LISTA DE FIGURAS

Nome da figura	Nº. Pág.
Figura 01: Exemplo de fractal .....	4
Figura 02: Localização do município de Joinville .....	10
Figura 03: Localização da Bacia do Rio Cachoeira no Município de Joinville/SC .....	11
Figura 04: Declividade da BHRC .....	12
Figura 05: Imagem QuickBird 2008 da BHRC .....	13
Figura 06: Altimetria da BHRC .....	14
Figura 07: Sub-bacias da BHRC .....	15
Figura 08: Curva de Koch .....	18
Figura 09: Estruturas euclidianas: (a) uni-dimensional, (b) bi-dimensional e (c) tridimensional .....	19
Figura 10: Método Box-counting aplicado .....	22
Figura 11: A bacia hidrográfica .....	25
Figura 12: Padrões de drenagem de bacia hidrográfica .....	27
Figura 13: Organograma do método da pesquisa .....	37
Figura 14: Redes de drenagem geradas com dados laser scanning	39
Figura 15: Redes de drenagem geradas com dados laser scanning	40
Figura 16: Variação do tamanho das caixas (boxes) .....	41
Figura 17: Interface de entrada de dados do software bacia	



fractal .....	43
Figura 18: Modo de uso visualização do software bacia fractal .....	44
Figura 19: visualização em DOS do processamento do software bacia fractal .....	45
Figura 20: Visualização da grade sobre a rede de drenagem no software bacia fractal .....	46
Figura 21: Gráfico gerado no software bacia fractal .....	47
Figura 22: Gráfico com limite 2D/3D gerado no software bacia fractal .....	47
Figura 23: Cubos recobrimdo a rede de drenagem no software bacia fractal .....	48
Figura 24: Organograma de análise com referência na base cartográfica de 1978 .....	49
Figura 25: Organograma de análise com referência nos dados laser scanning .....	50
Figura 26: Organograma de análise de todos os dados .....	50
Figura 27: Organograma de análise dos dados mais recentes .....	51
Figura 28: Df da BHRC para a base cartográfica de 1978 .....	52
Figura 29: Df das sub-bacias para a base cartográfica de 1978 .....	53



Figura 30: Df da BHRC para a base cartográfica de 2007 .....	54
Figura 31: Df das sub-bacias para a base cartográfica de 2007 .....	55
Figura 32: Edição da rede de drenagem obtida com a base cartográfica 2007 .....	56
Figura 33: Df das sub-bacias para a base cartográfica de 2007 editada .....	57
Figura 34: Df da BHRC com os dados laserscanning 10.000 .....	58
Figura 35: Df das sub-bacias com os dados laserscanning 10.000 .	58
Figura 36: Df da BHRC com os dados laserscanning 5.000 .....	59
Figura 37: Df das sub-bacias com os dados laserscanning 5.000 ...	60
Figura 38: Diferentes redes de drenagem geradas a partir dos dados SRTM .....	61
Figura 39: Df da sub-bacia Boa Vista com as diferentes redes de drenagem SRTM .....	62
Figura 40: Df da sub-bacia Bucareim com as diferentes redes de drenagem SRTM .....	63
Figura 41: Df da sub-bacia Cachoeira com as diferentes redes de drenagem SRTM .....	64
Figura 42: Df da sub-bacia Itaum com as diferentes redes de drenagem SRTM .....	64
Figura 43: Df da sub-bacia Velho com as diferentes redes de drenagem SRTM .....	



Figura 44: Dimensão fractal versus densidade de drenagem da BHRC.....	83
Figura 45: Diferença da dimensão fractal e da densidade de drenagem da BHRC .....	84
Figura 46: Número de ciclos versus Df .....	89
Figura 47: Laser Scanning versus SRTM .....	111
Figura 48: Gráfico relacionando Dd e Df da BHRC.....	114
Figura 49: Gráfico da variação da Df das sub-bacias.....	114
Figura 50: Gráfico da variação do comprimento dos rios das sub-bacias .....	116
Figura 51: Variação da Df planimétrica versus planialtimétrica da BHRC e sub-bacias .....	117



## LISTA DE TABELAS

<b>Nome da Tabela</b>	<b>Nº pág.</b>
TABELA 01: POPULAÇÃO TOTAL DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE .....	09
TABELA 02: FONTE DE DADOS UTILIZADOS NA PESQUISA .....	34
TABELA 03: RESUMO DAS ETAPAS E ATIVIDADES DA PESQUISA .....	36
TABELA 04: Df DAS SUB-BACIAS DA BHRC .....	53
TABELA 05: Df DAS SUB-BACIAS DA BHRC PARA A BASE DE 2007 .....	55
TABELA 06: Df DAS SUB-BACIAS DA BHRC PARA O LASERSCANNING 10.000 .....	59
TABELA 07: Df DAS SUB-BACIAS DA BHRC PARA O LASERSCANNING 5.000 .....	60
TABELA 08: Df DA BHRC DAS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM	61
TABELA 09: Df DA SUB-BACIA BOA VISTA PARA AS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM .....	62
TABELA 10: Df DA SUB-BACIA BUCAREIM PARA AS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM .....	63
TABELA 11: Df DA SUB-BACIA CACHOEIRA PARA AS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM .....	64
TABELA 12: Df DA SUB-BACIA ITAUM PARA AS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM .....	65
TABELA 13: Df DA SUB-BACIA VELHO PARA AS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM .....	66
TABELA 14: Df UTILIZADAS NA PESQUISA PARA AS SUB-BAICAS OBTIDA COM OS DADOS SRTM .....	67
TABELA 15: QUADRO RESUMO DOS VALORES DE DF OBTIDOS COM O MÉTODO MANUAL .....	68



TABELA 16: QUADRO RESUMO DO DESVIO DA MÉDIA DOS VALORES DE DF OBTIDOS COM O MÉTODO MANUAL .....	68
TABELA 17: QUADRO RESUMO DO DESVIO DA MÉDIA EM % DOS VALORES DE DF OBTIDOS COM O MÉTODO MANUAL .....	69
TABELA 18: DESVIO DA MÉDIA DOS VALORES DE DF OBTIDOS EM RELAÇÃO Á BASE DE 1978 .....	70
TABELA 19: VARIAÇÃO DOS VALORES DE DF DAS SUB-BACIAS OBTIDOS EM RELAÇÃO Á BASE DE 1978 .....	71
TABELA 20: DIFERENÇA DA DF DA BHRC EM RELAÇÃO AO LASER 10.000 .....	73
TABELA 21: DIFERENÇA DA DF DAS SUB-BACIAS EM RELAÇÃO AO LASER 10.000 .....	74
TABELA 22: DIFERENÇA DA DF DA BHRC EM RELAÇÃO AO LASER 5.000 .. ..	75
TABELA 23: DIFERENÇA DA DF DAS SUB-BACIAS EM RELAÇÃO AO LASER 5.000 .....	76
TABELA 24: MÉDIA DA DF DA BHRC DE DATAS PRÓXIMAS .....	77
TABELA 25: MÉDIA DA DF DA SUB-BACIA BOA VISTA DE DATAS PRÓXIMAS .....	78
TABELA 26: MÉDIA DA DF DA SUB-BACIA BUCAREIM DE DATAS PRÓXIMAS .....	78
TABELA 27: MÉDIA DA DF DA SUB-BACIA CACHOEIRA DE DATAS PRÓXIMAS .....	79
TABELA 28: MÉDIA DA DF DA SUB-BACIA ITAUM DE DATAS PRÓXIMAS ..	79
TABELA 29: MÉDIA DA DF DA SUB-BACIA DO RIO VELHO DE DATAS PRÓXIMAS .....	80



TABELA 30: RESUMO DA Df 2D PARA BHRC E SUB-BACIAS .....	80
TABELA 31: Df 2D VERSUS Dd DA BHRC E SUB-BACIAS .....	81
TABELA 32: DIFERENÇA DA Df PARA A BHRC COM O METODO AUTOMATIZADO .....	85
TABELA 33: DIFERENÇA DA Df PARA AS SUB-BACIAS COM O METODO AUTOMATIZADO .....	85
TABELA 34: Df OBTIDA COM O METODO 3D PARA A BASE CARTOGRÁFICA DE 1978 .....	91
TABELA 35: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O SRTM 100 .....	91
TABELA 36: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O SRTM 50 .....	91
TABELA 37: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O LASER 50625 .....	92
TABELA 38: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O LASER 25312.....	92
TABELA 39: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O LASER 10000 .....	92
TABELA 40: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O LASER 5000 .....	93
TABELA 41: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA A BASE CARTOGRÁFICA 2007 .....	93
TABELA 42: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA BHRC .....	94
TABELA 43: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA SUB-BACIA DO BOA VISTA .....	95
TABELA 44: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA SUB-BACIA DO BUCAREIM .....	95
TABELA 45: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA SUB-BACIA DO CACHOEIRA ....	96
TABELA 46: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA SUB-BACIA DO ITAUM .....	96



TABELA 47: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA SUB-BACIA DO VELHO .....	97
TABELA 48: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978 .....	98
TABELA 49: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO SRTM 100 .....	99
TABELA 50: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO SRTM 50 .....	99
TABELA 51: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO LASER 50625 .....	100
TABELA 52: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO LASER 25312 .....	101
TABELA 53: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO LASER 10000 .....	101
TABELA 54: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO LASER 5000 .....	102
TABELA 55: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 2007 .....	102
TABELA 56: DIFERENÇA DA Df DA BHRC OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978 .....	103
TABELA 57: DIFERENÇA DA Df DA SUB-BACIA DO BOA VISTA OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978 .....	104
TABELA 58: DIFERENÇA DA Df DA SUB-BACIA DO BUCAREIM OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978 .....	104
TABELA 59: DIFERENÇA DA Df DA SUB-BACIA DO CACHOEIRA OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978 .....	105



TABELA 60: DIFERENÇA DA Df DA SUB-BACIA DO ITAUM OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978 .....	105
TABELA 61: DIFERENÇA DA Df DA SUB-BACIA DO VELHO OBTIDA COM O METODO 3D COM REFERENCIA NA BASE DE 1978 .....	106
TABELA 62: DIFERENÇA DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NOS DADOS LASER SCANNING .....	107
TABELA 63: DIFERENÇA DA Df PLANIALTIMÉTRICA ENTRE DADOS LASER E SRTM .....	108
TABELA 64: DIFERENÇA DA Df PLANIALTIMÉTRICA ENTRE DADOS LASER E BASE CARTOGRAFICA 2007 .....	109
TABELA 65: DIFERENÇA DA Df PLANIALTIMÉTRICA DE DATAS MAIS PRÓXIMAS .....	109
TABELA 66: RESUMO DA Df PLANIALTIMÉTRICA LASER E SRTM PARA BHRC E SUB-BACIAS .....	111
TABELA 67: Df PLANIALTIMÉTRICA E Dd DA BHRC E SUB-BACIAS .....	112
TABELA 68: COMPARAÇÃO ENTRE Df PLANIMÉTRICA E PLANIALTIMÉTRICA.....	117
TABELA 69: Df PLANIMÉTRICA E PLANIALTIMÉTRICA DA BHRC E SUB-BACIAS.....	118
TABELA 70: COMPARAÇÃO Df PLANIMÉTRICA DAS BASES CARTOGRÁFICAS .....	119
TABELA 71: COMPARAÇÃO Df PLANIALTIMÉTRICA DAS BASES CARTOGRÁFICAS .....	120



## **LISTA DE SIGLAS**

ASPRS - American Society of Photogrammetry and Remote Sensing

BHRC – Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira

Dd – densidade de drenagem

DEM – Digital Elevation Model

Df – dimensão fractal

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Epagri – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LIDAR - Light Detection And Ranging

MNT – Modelo Numérico do Terreno

MDT – Modelo Digital do Terreno

Nasa - National Aeronautics and Space Administration

SIG – Sistema de Informações Geográfica

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina



## APENDICES

TABELA A1: LOG (N) E LOG (D) DA BHRC PARA OS DADOS DA BASE CARTOGRÁFICA DE 1978 .....	135
TABELA A2: LOG (N) E LOG (D) DAS SUB-BACIAS PARA OS DADOS DA BASE CARTOGRÁFICA DE 1978 .....	135
TABELA A3: LOG (N) E LOG (D) DA BHRC PARA OS DADOS DA BASE CARTOGRÁFICA DE 2007 .....	136
TABELA A4: LOG (N) E LOG (D) DAS SUB-BACIAS PARA OS DADOS DA BASE CARTOGRÁFICA DE 2007 .....	137
TABELA A5: LOG (N) E LOG (D) DA BHRC PARA OS DADOS LASERSCANNING 10.000 .....	138
TABELA A6: LOG (N) E LOG (D) DAS SUB-BACIAS PARA OS DADOS DA BASE CARTOGRÁFICA DE 2007 .....	138
TABELA A7: LOG (N) E LOG (D) DAS SUB-BACIAS PARA O LASERSCANNING 10.000 .....	139
TABELA A8: LOG (N) E LOG (D) DA BHRC PARA OS DADOS DO LASERSCANNING 5.0000 .....	140
TABELA A9: LOG (N) E LOG (D) DAS SUB-BACIAS PARA O LASERSCANNING 5.000 .....	141



# SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE SIGLAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	3
1.2 JUSTIFICATIVA .....	5
1.3 OBJETIVOS.....	7
1.4 PROBLEMA E HIPÓTESE DE PESQUISA .....	8
1.5 INEDITISMO, RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA .....	8
1.6 ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO CACHOEIRA EM JOINVILLE/SC.....	9
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 TEORIA FRACTAL .....	17
2.1.1 DIMENSÃO FRACTAL.....	19
2.1.2 MÉTODO BOX-COUNTING.....	21
2.1.3 ANÁLISE FRACTAL NO BRASIL .....	23
2.2 BACIA HIDROGRÁFICA .....	24
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO.....	28
2.3.1 PRODUTOS DO SENSORIAMENTO REMOTO.....	29
2.4 FOTOGRAMETRIA.....	30
2.5 RADAR.....	31
2.6 LIDAR .....	31
<b>3. MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>33</b>
3.1 MATERIAL E EQUIPAMENTOS.....	33
3.2 MÉTODO.....	35
3.2.1 EXTRAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM .....	38
3.2.2 CONTAGEM DE CAIXAS (BOX-COUNTING) MANUAL .....	40
3.2.3 MÉTODO DE CONTAGEM DE CAIXAS (BOX-COUNTING) AUTOMATIZADO.....	43



3.2.4	ANÁLISES DOS RESULTADOS .....	49
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES.....</b>	<b>53</b>
4.1	RESULTADO OBTIDO COM O MÉTODO MANUAL .....	53
4.1.1	RESULTADOS DA BASE CARTOGRÁFICA DE 1978 .....	53
4.1.2	RESULTADOS DA BASE CARTOGRÁFICA DE 2007 .....	55
4.1.3	DADOS OBTIDOS A PARTIR DO LASER SCANNING 2007 .....	58
4.1.4	DADOS OBTIDOS A PARTIR DO SENSOR SRTM .....	61
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS PLANIMÉTRICOS .....	68
4.2.1	ANÁLISE COM REFERÊNCIA NA MÉDIA DOS VALORES OBTIDOS.....	69
4.2.2	ANÁLISE COM REFERÊNCIA NA CARTOGRAFIA DE 1978 .....	71
4.2.3	ANÁLISE COM REFERÊNCIA NOS DADOS LASERSCANNING 2007 .....	74
4.2.4	ANÁLISE COM REFERÊNCIA NOS DADOS DE DATAS PRÓXIMAS .....	79
4.2.5	RELAÇÃO DOS VALORES DE DIMENSÃO FRACTAL DE DADOS PLANIMÉTRICOS E A DENSIDADE DE DRENAGEM .....	83
4.3	DIMENSÃO FRACTAL OBTIDA COM O MÉTODO AUTOMATIZADO— DADOS PLANIALTIMÉTRICOS.....	86
4.3.1	TESTES PRELIMINARES.....	87
4.3.2	RESULTADOS OBTIDOS COM O SOFTWARE BACIA FRACTAL.....	92
4.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS DE DIMENSÃO FRACTAL DOS DADOS PLANIALTIMÉTRICOS .....	95
4.4.1	ANÁLISE COM REFERÊNCIA NA MÉDIA E DESVIO PADRÃO.....	96
4.4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS PLANIALTIMÉTRICOS COM REFERÊNCIA NA BHRC .....	100
4.4.3	LASER SCANNING.....	102
4.5	ANÁLISE COM REFERÊNCIA NOS DADOS DE 1978 .....	105
4.5.1	ANÁLISE COM REFERÊNCIA NOS DADOS LASER SCANNING.....	109
4.5.2	ANÁLISE COM REFERÊNCIA NAS DATAS MAIS PRÓXIMAS.....	112
4.5.3	LASER SCANNING VERSUS SRTM .....	112
4.5.4	ANÁLISE DA DIMENSÃO FRACTAL VERSUS DENSIDADE DE DRENAGEM .....	114
4.6	DIMENSÃO FRACTAL PLANIMÉTRICA VERSUS DIMENSÃO FRACTAL PLANIALTIMÉTRICA..	118
4.6.1	ANÁLISES DAS BASES CARTOGRÁFICAS PLANIMÉTRICA E PLANIALTIMÉTRICA.....	121
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>123</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>126</b>
<b>7.</b>	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>137</b>



# 1. INTRODUÇÃO

---

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O foco desta pesquisa consiste na análise de redes de drenagem um elemento da paisagem que tem sido alvo de estudos e pesquisas com o intuito de se chegar ao entendimento de suas características naturais e suas inter-relações com o meio.

Para contextualizar o assunto inicia-se com a abordagem de que as redes de drenagem aqui citadas são formadas de canais fluviais localizadas em áreas urbanas. Para estas redes verifica-se fatos que apontam para uma realidade complexa da problemática ambiental a qual não pode ser abordada tecnicamente através de uma visão exclusiva de implementação de obras de engenharia. As enchentes urbanas, a ausência de saneamento básico, o comprometimento da qualidade da água de lençóis freáticos, são fortes indicadores de que é preciso realizar-se um estudo mais aprofundado, multidisciplinar, dos padrões observados na superfície.

Na Europa e na América do Norte, conduzidos pela necessidade de investigação, grandes esforços em pesquisa têm sido despendidos desde a década de 80 acerca do uso e cobertura da terra. Este fato tem trazido a análise espacial e a modelagem de dados geográficos, para a linha de frente das investigações, e têm gerado altas expectativas, quanto aos métodos de análise padrões espaciais (Kojima et al, 2006).

No que concerne ao estudo de redes de drenagem e aos padrões que descrevem pesquisadores de todo o mundo empenham-se no desenvolvimento de ferramentas matemáticas e computacionais, para, estudando a representação da realidade, a partir do conhecimento do meio ambiente e suas inter-relações. Em 1945 a partir do trabalho desenvolvido por Robert E. Horton, a análise de bacias hidrográficas passou a apresentar um caráter mais objetivo. Horton realizou uma análise quantitativa das bacias de drenagem, por exemplo, classificando os rios e seus tributários em ordem hierárquica e seu estudo influenciou Arthur N. Strahler na Universidade de Columbia o qual modificou o sistema de Horton implementando-o. (CHISTOFOLETTI, 1980).



Em 1975 Benoît Mandelbrot, matemático francês nascido na Polônia, descobriu a geometria fractal que trata de elementos que apresentam similaridade quando analisados em diferentes escalas. Esta teoria passou então a ser utilizada para descrever as formas irregulares e fragmentadas encontradas na superfície. Ao incorporar os fractais na geometria e associá-los com elementos da natureza, Mandelbrot passou a ser considerado “Pai” da geometria fractal moderna, também conhecida como geometria da natureza (Almeida, 2006).

A utilização da geometria fractal ocorre por ser considerada a que fornece as ferramentas adequadas para quantificar a rugosidade ou textura existente acerca de um objeto natural em diferentes escalas, uma vez que os modelos fractais são projetados para descrever a textura da superfície mostrando a similaridade existente em feições que se propagam num determinado leque de escalas espaciais. (Pachepsky et al,1997).

Os elementos com características fractais despertam a curiosidade inclusive daqueles não familiarizados com seu conceito matemático. Devido às suas peculiaridades de repetição de padrões imagens curiosas e bonitas podem ser formadas (figura 1).

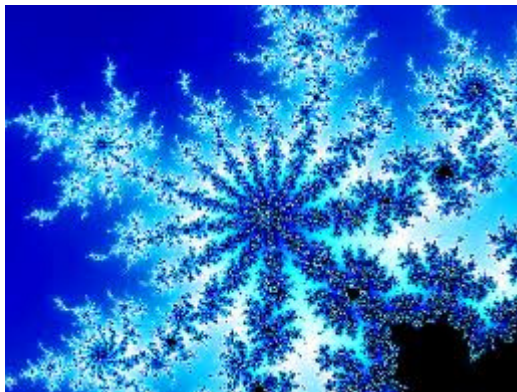


Figura 01: Exemplo de fractal

Fonte: <http://pessoal.utfpr.edu.br/josifaria/> acessado em 11/12/2010.

Sua aplicação para redes de drenagem surgiram da necessidade de se compreender melhor como ocorrem os fenômenos hidrológicos levando-se em conta, por exemplo: os fatores geomorfológicos que os influenciam, a quantificação deste elemento, a determinação de parâmetros relativos a sua forma em diferentes escalas, em diferentes níveis de observação, fornecendo



informações, as quais podem ser utilizadas em diferentes níveis de planejamento de recursos hídricos (Vestena e Kobiyama, 2010).

Partindo-se da idéia de que é possível se quantificar a característica fractal das redes de drenagem aplica-se nesta pesquisa o método de contagem de caixas (Box-counting) calculando-se a dimensão fractal da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC), escolhida como área de análise deste trabalho. Para tanto faz-se necessária a obtenção da rede de drenagem, a partir da utilização de produtos do sensoriamento remoto do qual se extraem dados planimétricos e planialtimétricos. A utilização de diferentes dados de rede de drenagem da área de estudos propicia uma análise multiescalar, mostrando uma importante característica dos elementos tido como fractais: os diferentes valores de dimensão fractal encontrados para os diferentes níveis de observação. Isto somente pode ser proporcionado através da utilização de uma gama variada de produtos do sensoriamento remoto com resolução espectral e precisão variadas, o que possibilita quantificar o valor e as diferenças máximas de valores de dimensão fractal que podem ser obtidas.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Apesar de quase três décadas de estudos acerca do meio ambiente os pesquisadores encontraram desafios no processo de identificação de padrões ecológicos. Um desses desafios está descrito como sendo a “heterogeneidade de múltiplas escalas”, ou seja, o fato de que a inter-relação entre padrões muda quantitativamente quando alteradas a resolução e a escala geográfica das observações (em outras palavras, mudam o padrão e extensão do fenômeno). A dependência escalar de medições da superfície é amplamente reconhecida na ecologia, geografia e sensoriamento remoto. No entanto, fatores que influenciam essa dependência escalar não são muito bem entendidas e a generalidade de padrões dessa dependência escalar observada em casos específicos permanece incerta (Kojima, 2006).

Desde o desenvolvimento da teoria de Mandelbrot pesquisadores começaram a utilizá-la como intuito de descrever a natureza dos elementos naturais da superfície terrestre. Tal teoria pode ser considerada recente, se a compararmos com outras teorias matemáticas especialmente a geometria euclidiana, a qual calcula áreas, perímetro e volume de elementos geométricos.



A identificação de padrões de drenagem que compõem determinada área ou região estão relacionadas as características geológicas e ambientais que se desenvolvem a partir do relevo e estão sujeitas à ação antrópica (Lopes et al, 2002). Para tanto, faz-se necessária a coleta e a representação espacial de dados sendo o uso dos produtos do sensoriamento remoto de fundamental importância. Os diferentes produtos disponíveis a partir dos avanços tecnológicos das últimas décadas fornecem ao analista uma gama de opções para realizar suas pesquisas tendo, cada um deles características e finalidades específicas. A partir destes diferentes produtos do sensoriamento remoto consegue-se então, obter diferentes representações espaciais acerca do objeto de análise desta pesquisa. Cada produto do sensoriamento remoto utilizado fornece um modelo numérico que representa a superfície do terreno mostrando uma morfologia específica para a rede de drenagem obtida em função das especificidades morfológicas mostradas pelo referido modelo. A análise destas diferenças de representação de uma mesma realidade pode nos levar a diferentes análises acerca do elemento.

Para identificar os diferentes padrões sob a ótica da teoria fractal dos elementos naturais calcula-se o valor de sua dimensão fractal, que tem por objetivo quantificar a complexidade ou irregularidade de um objeto fractal, mas, não sua forma, como ocorre na geometria euclidiana, a qual utiliza pontos, retas, planos e volumes para tanto. (Rodriguez-Iturbe & Inacio, 2001). O processo de se quantificar e, a partir daí caracterizar uma rede de drenagem fornecerá valores de Df diferentes para cada tipo de dado utilizado, dadas as características dos sensores com os quais se obtém a informação pois, o valor encontrado, é reflexo da estrutura geomorfológica existente numa determinada gama de escalas (Hirata, 1989).

Nesta pesquisa utiliza-se dados provenientes de técnicas de aerofotogrametria (bases cartográficas), radar (SRTM) e perfilamento a laser. Para se chegar ao valor de dimensão fractal de um elemento aplica-se como método o cálculo da média de valor de dimensão fractal e os desvios em relação à média para se quantificar, ao final, qual a máxima diferença obtida em função da utilização de diferentes redes de drenagem que representam a rede de drenagem.

Para a BHRC, área de estudos desta pesquisa, ainda não se realizou um estudo acerca das características fractais de sua rede de drenagem. A aplicação desta teoria no Brasil, para diversas áreas da ciência vem ocorrendo deste os anos 90 do século passado. Já foi utilizada para descrever padrões observados



em exames clínicos de imagem (Ferreira, 2007), análise de comportamentos de commodity de cobre (Matias, 2006), condutividade hidráulica do solo (Comiran, 2006), redes de drenagem (Silveira, 2006), entre outros.

A análise da forma das redes de drenagem a partir da dimensão fractal dá significativa contribuição à construção de um novo pensamento, que leva em consideração não somente um valor quantitativo do elemento analisado, mas sim, quantifica o grau de inserção deste elemento na paisagem, relaciona a forma do objeto com o meio em que esta inserido. A aplicação desta nova forma de visualização dos elementos naturais é ainda recente no Brasil e no mundo se comparado aos métodos tradicionais de mensuração.

Esta pesquisa vem, assim, contribuir para os estudos de aplicação de métodos e análises de resultados obtidos pela utilização de diferentes produtos do sensoriamento remoto sob esta nova ótica chamada de análise fractal.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **Objetivo Geral:**

É objetivo geral desta tese determinar o padrão fractal da rede de drenagem da Bacia do Rio Cachoeira e sub-bacias, a partir do cálculo de sua dimensão fractal utilizando para tanto, dados vetoriais, planimétricos e planialtimétricos, obtidos por sensores remotos orbitais e suborbitais.

#### **Objetivos específicos:**

- 1) Determinar a dimensão fractal de rede de drenagem com representação planimétrica;
- 2) Determinar o padrão fractal de rede de drenagem com representação planialtimétrica;
- 3) Analisar os resultados obtidos para rede de drenagem extraídas de diferentes produtos do sensoriamento remoto tais como: bases cartográficas (escalas 1:50 000 e 1:1 000), laserscanning e radar (SRTM);



- 4) Determinar a variação do padrão fractal da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira e sub-bacias, a partir dos dados planimétricos e planialtimétricos.

#### **1.4 PROBLEMA E HIPÓTESE DE PESQUISA**

**Problema 1:** Utilizando-se uma gama de produtos do sensoriamento remoto com escalas e resoluções diferentes obtém diferentes redes de drenagem, qual a diferença da dimensão fractal entre as redes de drenagem?

**Hipótese 1:** Utilizando-se um mesmo método de cálculo de Df para diferentes produtos do sensoriamento remoto se chega ao intervalo máximo de Df em função dos diferentes dados obtidos com os diferentes sensores.

**Problema 2:** Que diferença se obtém de valor de Df ao se utilizar dados planimétricos e planialtimétricos?

**Hipótese 2:** Ao se utilizar o mesmo método de cálculo de Df para redes de drenagem com informação planimétrica e planialtimétrica obtém-se valores de Df diferentes em consequência da característica altimétrica do elemento.

#### **1.5 INEDITISMO, RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA**

Com o surgimento da teoria fractal no século XX uma nova forma de análise dos elementos naturais vem sendo utilizada no entendimento da complexidade destes elementos. Em particular, sua utilização na análise de redes de drenagem têm se mostrado importante para se compreender a dinâmica destas estruturas numa dada área da superfície.

Os trabalhos até então desenvolvidos utilizam diferentes métodos de cálculo de Df e diferentes dados do sensoriamento remoto como: bases cartográficas analógicas e digitais, imagens de satélite, modelos digitais do terreno, etc. No entanto, pesquisando-se os trabalhos até então desenvolvidos, verifica-se a existência de uma lacuna na pesquisa técnico-científica acerca da investigação territorial de redes de drenagem, aliando-se a teoria fractal às técnicas de geoprocessamento. Essa lacuna refere-se à comparação e análise de



resultados obtidos da aplicação da teoria fractal em redes de drenagem, utilizando-se produtos obtidos por sensoriamento remoto, matriciais e vetoriais, de diferentes escalas, entre eles dados do sensor laser scanner com diferentes datas de obtenção e comparando-se a informação planimétrica com a planialtimétrica.

Sendo assim, através deste trabalho se passará a compreender a complexa estrutura dos canais fluviais de uma bacia hidrográfica realizando-se análises numa gama de escalas/resoluções, quantificando-se as propriedades deste elemento através da determinação de sua Df e das variações dos valores obtidos com dados planimétricos e planialtimétricos. Desta forma se demonstra uma importante característica dos fractais: a similaridade de feições em variadas escalas de análise quantificando-se este padrão que se repete.

## **1.6 ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO CACHOEIRA EM JOINVILLE/SC**

Joinville é o município com a maior população do Estado de Santa Catarina contando com um total de aproximadamente 515 mil habitantes em 2010 de acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Ainda de acordo com os dados apresentados pelo referido instituto, nos últimos 19 anos o município sofreu um incremento de aproximadamente 33% em sua população (Tabela 01).

**TABELA 01: POPULAÇÃO TOTAL DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE**

Fonte: IBGE, 2011

Ano	População Total (habitantes)
2010	515.250
2007	487.003
2000	429.604
1996	397.951
1991	347.151

Está localizado na Região Norte do Estado de Santa Catarina como pode ser visto na figura 02.



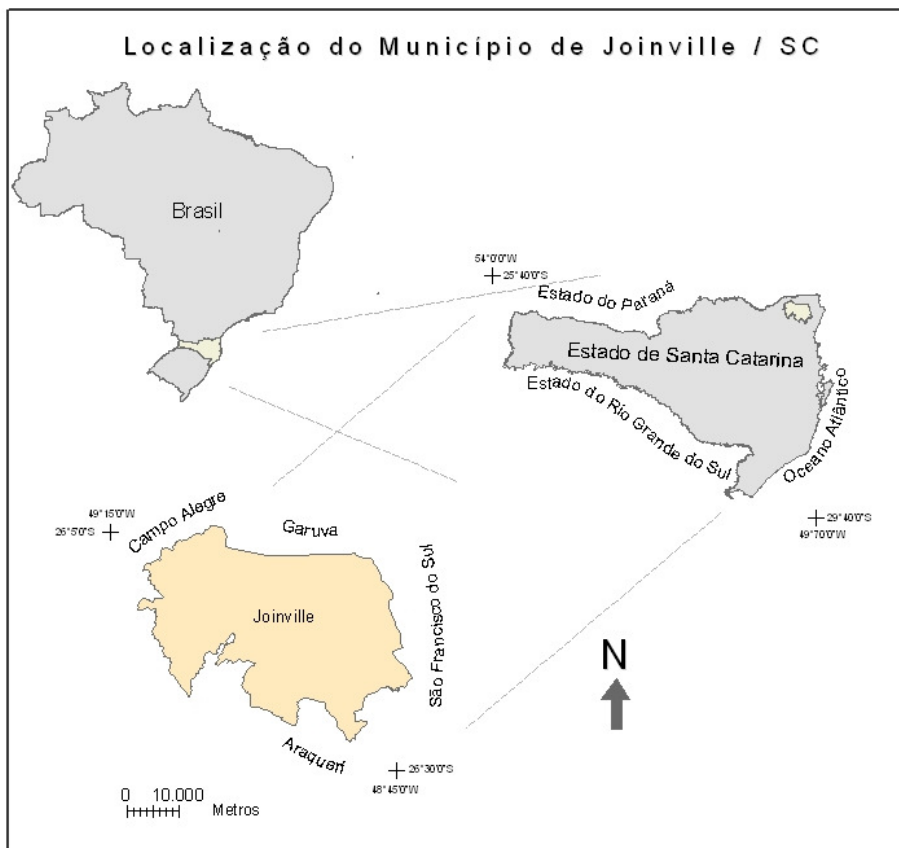


Figura 02: Localização do município de Joinville

Fonte: Adaptado da mapoteca digital do IBGE, 2008

A localização do município de Joinville na Baía da Babitonga e as características geográficas do mesmo (relevo, clima, etc.) fazem com que esteja suscetível a ocorrência de enchentes principalmente na área urbanizada.

Na região oeste do município encontra-se a Serra do Mar com montanhas de altitudes de até 1.325 metros. No leste, há uma área de sedimentação costeira, recortada por manguezais. A vegetação predominante



pode ser classificada de uma forma geral como Floresta Ombrófila Densa, é parte integrante do domínio da Floresta Atlântica.

Na hidrografia predominam 4 bacias, são elas: Rio Itapocu, Cubatão, Cachoeira (área de estudos desta pesquisa) e as Bacias Independentes da Região Leste (PMJ, 2008).

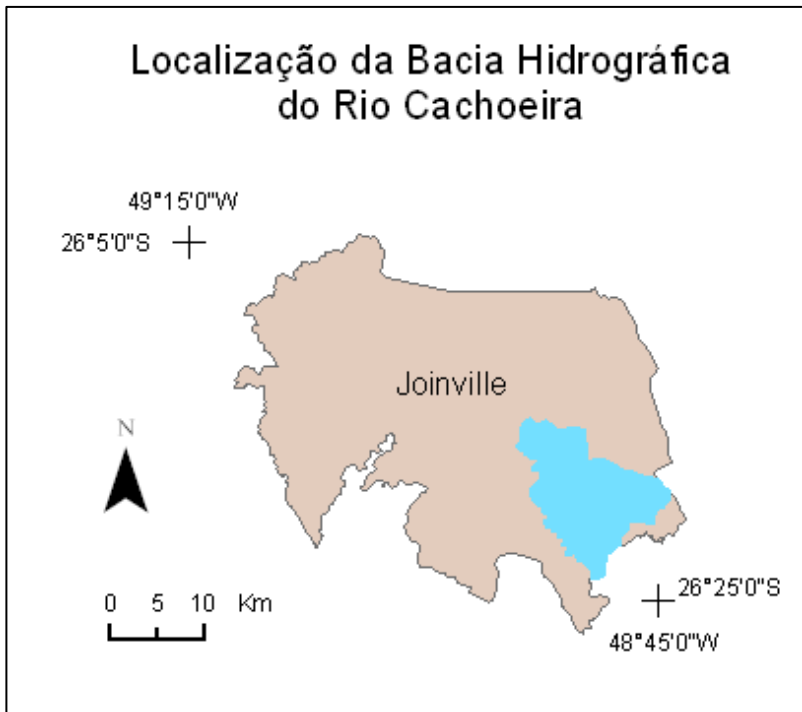


Figura 03: Localização da Bacia do Rio Cachoeira no Município de Joinville/SC

Fonte: dados primário obtidos no site [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

O relevo da cidade é considerado plano (figura 04) com poucas elevações possuindo montanhas elevadas no entorno da cidade de clima subtropical (IBGE, 2008).



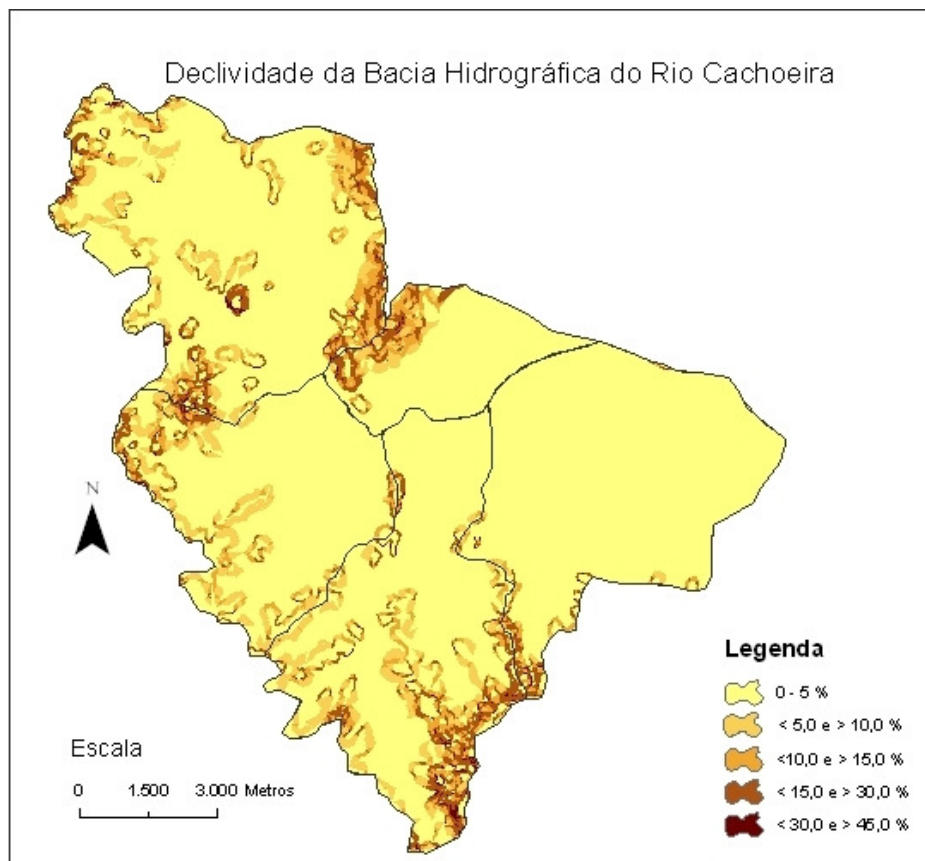


Figura 04: Declividade da BHRC

Fonte: Base Cartográfica de 1978

A área no entorno do Rio Cachoeira é quase totalmente urbanizada restando apenas alguns manguezais. A região de planície, onde se desenvolve a ocupação urbana, é coberta por morros que mantêm intactas áreas da mata atlântica. Ela condiz com a área urbana do município de Joinville como pode ser observado através da imagem QuickBird (figura 05). A morfologia desta área faz com que fortes chuvas causem alagamentos de grandes proporções.



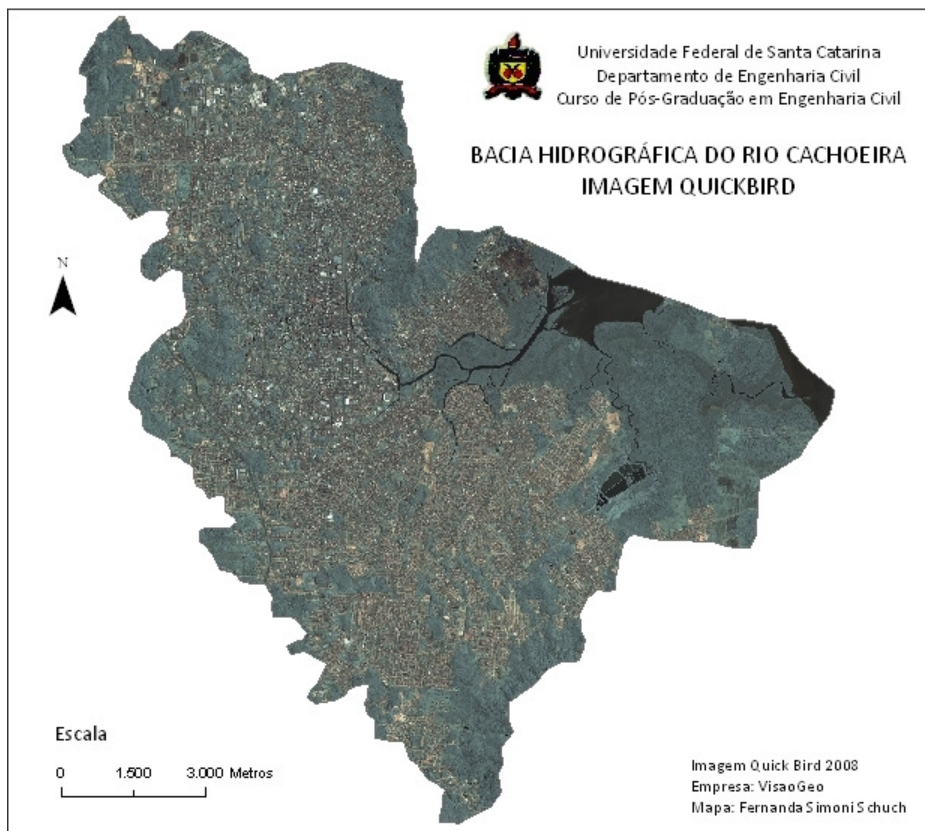


Figura 05: Imagem QuickBird 2008 da BHRC

Fonte: Quick Bird, 2008

A Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC) é uma bacia hidrográfica de 5ª. Ordem segundo a classificação de Strahler, a qual possui uma área de aproximadamente 125,42 km<sup>2</sup>, perímetro de aproximadamente 64,75 km, aproximadamente 180 km em extensão de rios, densidade de drenagem: 2,77 km/km<sup>2</sup>, máxima altitude de 228m de acordo com dados obtidos na base cartográfica de 1978 do IBGE (figura 06).



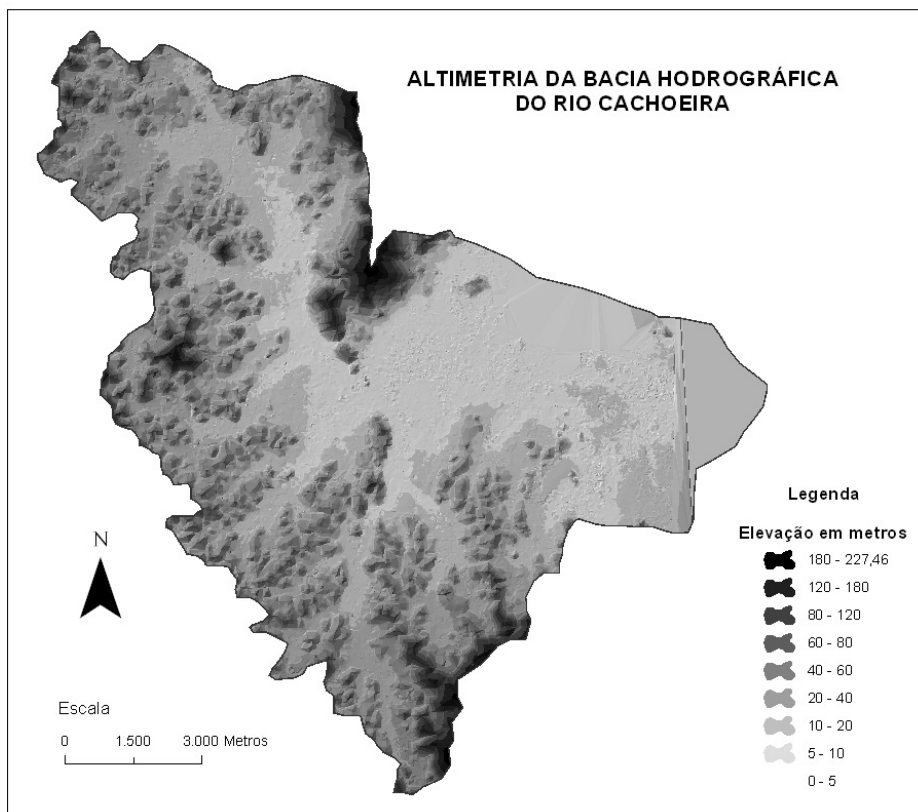


Figura 06: Altimetria da BHRC

Fonte: Base Cartográfica de 2007 – Aeroimagem S/A

Para um melhor entendimento da complexidade da área de estudos e sua rede de drenagem, objeto de análise desta pesquisa, realiza-se abaixo uma breve descrição das sub-bacias que compõem a BHRC (figura 07) sendo estas: sub-bacia do Boa Vista, sub-bacia do Bucareim, sub-bacia do Cachoeira, sub-bacia do Itaum e sub-bacia do Velho.



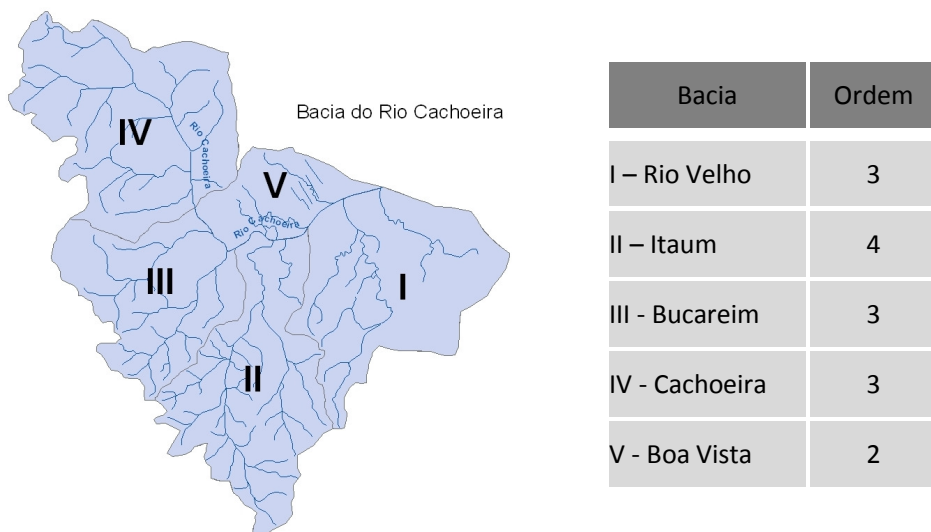


Figura 07: Sub-bacias da BHRC

Fonte: adaptado da base cartográfica de 1978

Para um melhor entendimento da BHRC como um todo faz-se necessário descrever brevemente as cinco sub-bacias que a compõem.

A sub-bacia do rio velho (nº 1 na figura 07) caracteriza-se por ser de terceira ordem na classificação de Strahler e possuir manguezais e um relevo com declividade igual ou inferior a 5%. A área urbana do município faz limite com a área de mangue.

A sub-bacia do Itaum (nº 2 na figura 07) é de quarta ordem na classificação de Strahler e possui um elevado grau de urbanização em comparação às sub-bacias anteriormente analisadas. Comparando-se a imagem quickbird com a declividade da área percebe-se que a área verde remanescente corresponde àquelas mais declivosas.

A sub-bacia do Bucareim (nº 3 na figura 07) localizada ao lado da sub-bacia do Itaum possui a característica da urbanização acentuada tal qual sua vizinha e, da mesma forma, observa-se que o remanescente de vegetação corresponde à porção mais declivosa do relevo desta sub-bacia sendo de terceira ordem na classificação de Strahler.



Na sub-bacia de terceira ordem do Cachoeira o principal canal da BHRC se origina: o Rio Cachoeira. Percebe-se que se trata também de uma área bastante urbanizada assim como observado nas sub-bacias do Bucareim e Itaum. Possui um relevo mais acidentado se comparado à sub-bacia do Velho ou Boa Vista.

A sub-bacia do Boa Vista é de 2ª ordem conforme a classificação de Strahler e, através dela o Rio Cachoeira, o principal rio da BHRC, chega ao Oceano Atlântico. Possui área praticamente plana como pode ser observado no mapa de declividade (figura 04) especialmente a porção urbanizada da bacia hidrográfica se localiza na área com a declividade é de até 5%. A área de vegetação onde a urbanização praticamente inexistente, à noroeste na figura acima, é onde se localiza a área maior declividade.

Uma vez caracterizada a área de estudos faz-se necessário transcorrer para um referencial teórico afim de embasar o método desta pesquisa.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

---

O processo de investigação envolve variáveis as quais necessitam de um embasamento teórico para um bom entendimento desta pesquisa.

### 2.1 TEORIA FRACTAL

A análise da rede de drenagem utiliza como base os aspectos abordados pela teoria fractal sendo, portanto, necessário apresentá-lo.

Os primeiros desafios ao Princípio Euclidiano da geometria surgiram com os matemáticos Hausdorff, Cantor, Koch e Sierpinski que pensavam na dificuldade de descrever todas as formas da natureza a partir de linhas, círculos e cubos. (Da Silveira, 2006).

No início do século XX, Hausdorff e Besicovitch adiantaram as primeiras idéias sobre a geometria dos fractais. Porém, o tema passou a chamar atenção dos matemáticos com Mandelbrot, ao realizar vários estudos sobre a similaridade de objetos quando observados em escalas diferentes. Para Mandelbrot (2006) os padrões que a geometria euclidiana denominou de irregulares ou amorfos foram desafiantes levando-o a conceber uma nova geometria para descrever os padrões irregulares e fragmentados chamando-os de fractais. Segundo o autor os mais úteis fractais envolvem probabilidade e suas regularidades ou irregularidades são estatísticas. Suas formas também tendem a ser escalares implicando num grau de irregularidade e/ou fragmentação idêntica em todas as escalas.

Esta característica pode ser observada na curva de Koch, introduzida em 1904 pelo matemático sueco Helge Von Koch, apesar da simplicidade de construção, permite entender algumas das características fundamentais dos objetos fractais, como a estrutura fina e auto-similaridade.

Para construção da linha de Koch parte-se de um segmento de reta de comprimento unitário, chamado de iniciador, que é dividido, na primeira etapa, em três partes. Na segunda, substitui-se o terço médio do segmento iniciador, por dois lados de um triângulo equilátero com comprimento igual ao segmento removido. Na figura gerada, repete-se o mesmo procedimento em cada



segmento. Nesse processo de construção, pode-se visualizar uma das propriedades dos fractais que é a auto-similaridade na qual cada segmento, em determinada etapa, é uma versão escalonada da etapa anterior (Figura 08).

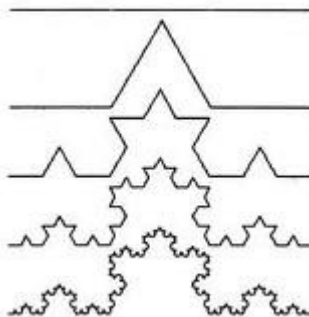


Figura 08: Curva de Koch

Fonte: Rodríguez-Iturbe & Rinaldo, 2001

Outra característica dos fractais visualizada em cada parte da curva de Koch é a sua estrutura fina que se associa à conservação do grau de detalhamento do objeto fractal quando observado uma porção arbitrariamente pequena do mesmo. Essa possui a mesma riqueza de detalhes da curva inteira, embora suas imagens estejam sujeitas a um limite de detalhamento pelo poder de resolução do meio no qual se faz sua representação (Rodríguez-Iturbe & Rinaldo, 2001).

A característica da auto-similaridade pode ser vista em muitos elementos da natureza. Os fractais como os vistos na curva de Koch são conhecidos como isotrópicos pois apresentam a característica auto-similar em todas as escalas (Mandelbrot, 2006). Contudo, os fractais são igualmente formados por mini-cópias, mas estas não mantêm fixas as proporções originais, ou seja, eles são invariantes sob transformações anisotrópicas. Isso ocorre quando uma porção menor do todo parece ter sofrido diferentes reduções de escala nas direções longitudinais e transversais. Esse escalonamento desigual resultará em distorções na réplica menor (Serra e Karas, 1997). Os fractais quando mostram similaridade a partir de uma transformação de escala, estes são denominados fractais auto-afins.

Quando ainda se observa que um elemento é uma composição de fractais entrelaçados onde, cada um deles possui uma dimensão fractal, diz-se



que um elemento é um multifractal (Barabási e Vicsek, 1991). As redes de drenagem analisadas neste trabalho são considerados multifractais pois, cada um dos canais fluviais que compõem a rede possui um valor de dimensão fractal ( $D_f$ ) que pode ser analisada como um subconjunto de uma rede maior.

### 2.1.1 Dimensão Fractal

Para Mandelbrot (1982), os fractais são conjuntos cuja dimensão fractal, é estritamente superior à sua dimensão euclidiana. A geometria clássica euclidiana considera que um ponto possui dimensão zero, uma linha reta possui uma dimensão; uma superfície plana possui duas dimensões e um sólido possui três dimensões. A dimensão de uma figura assim caracterizada é uma dimensão topológica que se exprime sempre por um número inteiro (figura 09).

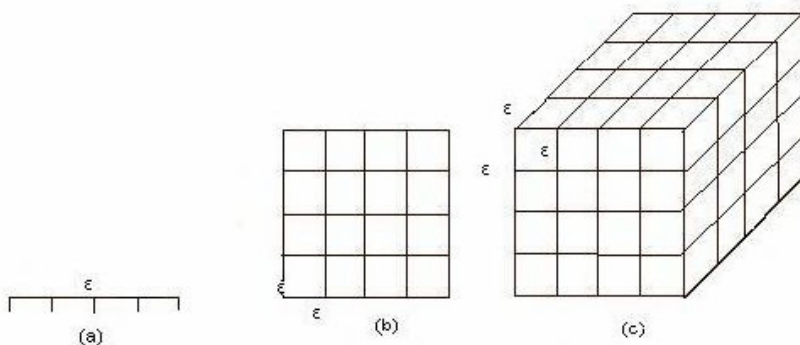


Figura 09: Estruturas euclidianas: (a) uni-dimensional, (b) bi-dimensional e (c) tridimensional

Para se explicar a dimensão fractal Rodriguez-Iturbe & Rinaldo (2001) tomam como exemplo a sinuosidade de uma linha costeira onde, se pode observar a semelhança da linha como um todo com um segmento da mesma. De modo a se medir a sinuosidade das curvas que a compõem pode-se dividi-la em 'n' partes menores de tamanho 'r'. A medida que o tamanho de 'r' diminuir, o número de pedaços 'n' tende a zero ficando o comprimento da linha costeira representada pela equação (1):



$$L = \lim_{r \rightarrow 0} L(r) = \lim_{r \rightarrow 0} Nr$$

equação(1)

Assim, a medida que 'r' tende a zero o produto Nr tende ao infinito em função do infinito número de estruturas finas contidas num fractal. No entanto, para um particular expoente  $D > 1$ , descobriu-se que o produto  $Nr^D$  permanece infinito. Este expoente crítico é conhecido como Dimensão Fractal (Df).

Para o pesquisador Mandelbrot (2006) o número real D define o grau de irregularidade do ente geométrico. Ela quantifica a complexidade ou irregularidade de um objeto fractal, mas não sua forma. Portanto, um objeto com menor dimensão fractal é menos complexo do que um objeto com uma maior dimensão fractal.

Para Christofletti e Christofletti (1994), a significância dos fractais residiu em possibilitar concepções mais amplas a propósito da dimensionalidade de um objeto. Os pesquisadores enquadraram os valores do escalonamento da dimensão fractal de modo genérico em:

- Valores entre 0 e 0,99: neste intervalo encontram-se as estruturas com base em pontos como, por exemplo, o fractal de uma série temporal de dados sobre a precipitação em determinado lugar;

- Valores fractais entre 1,0 e 1,99: neste intervalo incluem-se as estruturas espaciais de lineamentos, no caso curvas irregulares, como as tortuosidades e as sinuosidades das linhas costeiras e os meandros dos cursos fluviais.

- Valores entre 2,0 e 2,99: inserem-se as estruturas espaciais de representação bidimensional que uma superfície irregular possui. Incluem-se aqui a análise do formato de bacias hidrográficas e a modelagem digital do terreno;

- Valores de 3,0 e 3,99: correspondem às estruturas espaciais de representação volumétrica de uma categoria de ocorrência no interior de outro conjunto volumétrico. Por exemplo, servindo como aplicação para o cálculo de reservas em jazidas minerais em determinada unidade espacial ou para determinar o volume total de nuvens em uma unidade volumétrica (local ou regional) da atmosfera.



### 2.1.2 *Método Box-Counting*

A determinação da Df de um elemento pode se dar através de diferentes métodos. No entanto nem todos os métodos podem ser aplicados a todo tipo de estrutura. Isso ocorre por que cada método se baseia num tipo de medição diferente do objeto analisado, gerando resultados diferentes para um mesmo objeto (Backes e Bruno, 2005).

O método de contagem de caixas (Box-counting) é apontado por pesquisadores como o mais simples de ser utilizado e um dos que propiciam melhores resultados em diferentes análises (Backes et al 2007; Da Silveira 2006; Bartolo et al 2005 entre outros). Ignácio-Rodrigues & Rinaldo (2001), em concordância com os demais autores, afirmam ser este método muito freqüentemente utilizado quando se tratam das ciências naturais. Também afirmam ser fácil de ser implementado em códigos computacionais inclusive nos casos em que o objeto está inserido numa dimensão espacial maior como os elementos tridimensionais onde os boxes (caixas ou quadros) são na verdade cubos de tamanho 'd'. Portanto, este será o método utilizado nesta pesquisa para o cálculo da Df de redes de drenagem com informações planimétricas e planialtimétricas.

Sendo assim, para estimar a dimensão fractal com o método Box-counting cobre-se o objeto (a imagem) com uma grade (grid) de tamanho 'd' e simplesmente conta-se o número de quadros que contém alguma parte do objeto, como mostra a figura abaixo.



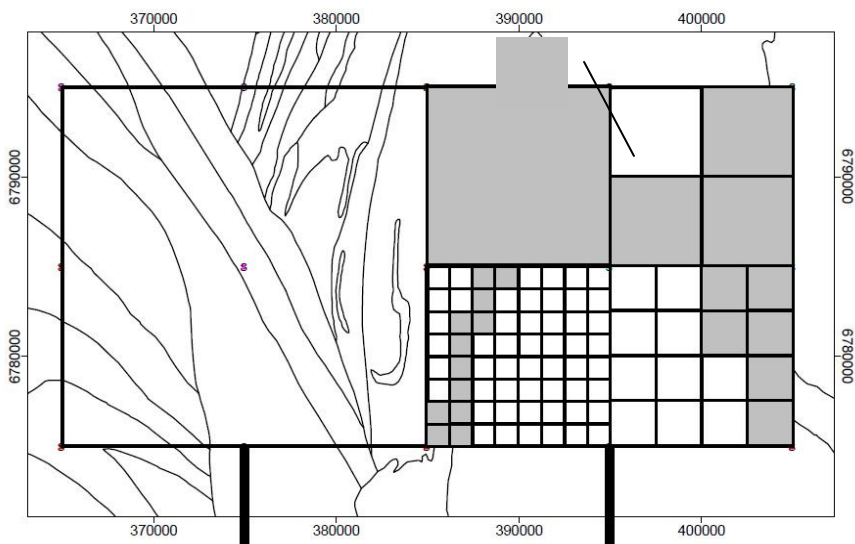


Figura 10: Método Box-counting aplicado

Fonte: <http://rock.geosociety.org/pub/reposit/2004/2004088.pdf>, 2009

O valor de 'd' (dimensão do grid) é progressivamente reduzido até se obter uma série de tamanhos cada vez menores (equação 2). À medida que o valor de 'd' tender à zero veremos que o gráfico  $\log N(d)/\log (1/d)$  converge para valores infinitos, fornecendo uma reta (equação 2) cujo coeficiente angular ( $k_0$ ) é o valor da dimensão fractal do objeto.

$$D = \lim_{d \rightarrow 0} \frac{\log N}{-\log d}$$

equação (2)

$$\text{Log}N(d) = -k_0 \log d + \log \mu$$

equação (3)



### 2.1.3 *Análise Fractal no Brasil*

A partir da década de 1990, estudos em diversas áreas do conhecimento, têm sido desenvolvidos no Brasil utilizando a teoria fractal, inclusive na análise de redes de drenagem, mas, ganharam significativo impulso na última década. Alguns trabalhos seguem abaixo para contextualizar a utilização desta teoria na pesquisa brasileira.

No ano de 2006, Mauro Normando Macêdo Barros Filho, em sua tese de doutorado apresentou os efeitos da escala no entendimento da diversidade sócio-espacial intra-urbana nas hipóteses de autocorrelação da geoestatística e auto-similaridade da teoria dos fractais. Com o estudo o pesquisador concluiu que os padrões sociais do Recife (área de estudo) são espacialmente dependentes e se manifestam em múltiplas escalas, ocorrendo uma tendência de as áreas com melhores condições de habitabilidade da cidade ficarem menores e mais agrupadas, quando analisadas em uma única escala, e mais dispersas, quando analisadas em escalas maiores.

Análise do comportamento de preços da commodity cobre utilizando uma abordagem sob a ótica da teoria dos fractais foi o trabalho realizado por Marcia Athayde Matias em 2006. A autora baseou-se no trabalho de Benoit Mandelbrot com séries temporais da commodity algodão. Foram realizados testes para normalidade, linearidade, estacionaridade e fractalidade de uma série histórica de preços da commodity cobre com 32 anos de observações diárias do período entre 1974 – 2005.

A teoria fractal também já foi utilizada para determinar características de solos como a condutividade hidráulica. O pesquisador Gilberto Comiran apresentou a aplicação de um modelo para se estimar a condutividade hidráulica de solos não saturados, utilizando os conceitos da Geometria Fractal e das leis de Laplace e de Poiseuille em 2006.

Em 2006, Nara de Fátima Quadros da Silveira, defendeu uma tese de doutorado acerca das características físicas e fractais de uma rede de drenagem de bacia hidrográfica, utilizando como material uma carta topográfica e fotografias aéreas. Deste material foram extraídas informações morfométricas e foram estudados os expoentes de Hack e as propriedades de auto-similaridade e auto-afinidade (fundamentos da geometria fractal), utilizando os métodos Box-Counting e o das razões de Horton. A pesquisadora concluiu que os elementos



observados caracterizam-se como objetos fractais e a dimensão fractal estimada para as bacias de drenagem foram semelhantes tanto para os dados elaborados a partir da carta topográfica quanto das fotografias aéreas.

Em 2007 a análise fractal foi utilizada para o diagnóstico folicular da tireóide na tese de doutorado defendida por Rita de Cássia Ferreira na UNICAMP. No mesmo ano, Juliano dos Santos Gonschorowski propôs a utilização métodos de processamento de sinais e reconhecimento de padrões dos sinais de respostas de sensores de gás, utilizando técnicas e modelos da geometria fractal, para tanto, o pesquisador baseou-se no princípio de compressão fractal e determinou a dimensão fractal multiescalar.

Vestena e Kobiyama (2010), em análise de rede de drenagem, encontraram valores entre 1,66 e 1,81 para a Bacia Hidrográfica do Rio Caeté aplicando o método Box-counting para uma base cartográfica na escala 1: 50 000. Lopes, Paula e Vieira (2002) utilizaram o mesmo método para determinar a fractalidade da rede de drenagem da cidade do Rio de Janeiro e obtiveram para uma carta na escala 1:200 000 valores de dimensão fractal analisados na forma matricial e vetorial. Na forma matricial obtiveram o intervalo de  $1,23 \pm 0,09$  enquanto que na forma vetorial  $1,15 \pm 0,08$ . Os mesmo pesquisadores afirmam que a diferença entre os valores obtidos observando-se os desvios da média foram relativamente altos entre 6,5 e 7% estando, no entanto, coerentes com o domínio das fractalidades de rios apresentados por Hack (1957): entre 1,1 e 1,3.

## **2.2 BACIA HIDROGRÁFICA**

O conhecimento do território não é algo simples, inclui variáveis que nem sempre podem ser determinadas com exatidão para alimentarem um sistema de diagnóstico, prognóstico e planejamento. Por exemplo: vontades políticas, necessidades sociais, respostas do meio ambiente face às intervenções nele realizadas, etc. Via de regra, os estudos relativos ao planejamento e gerenciamento do meio são simplificados, generalizados, numa tentativa de representar a realidade.

Para direcionar os esforços relacionados ao planejamento e gerenciamento ambiental, o governo brasileiro definiu um Programa Nacional de Bacias Hidrográfica, anterior à Constituição Brasileira de 1988, onde se definiu a micro-bacia hidrográfica como sendo uma unidade ideal para o planejamento



integrado do manejo dos recursos naturais no meio ambiente por ela definido (FATMA, 2009). A rede de drenagem da BHRC faz parte, portanto, deste sistema de planejamento e deve ser abordada sob a ótica de suas características enquanto elemento da paisagem e, em sendo a bacia hidrográfica a área geográfica de a ser utilizada para a gestão dos recursos hídricos no Brasil, faz-se necessária uma breve descrição acerca da mesma.

A bacia hidrográfica (figura 11) é formada de dois sistemas interligados: a rede de drenagem e o relevo. O relevo está associado ao clima, a ocorrência de tempestades e transporte da água para as redes de canais fluviais (Rodríguez-Iturbe & Rinaldo, 2001). O rio com seu talvegue ordena os processos de formação do vale fluvial, embora sua influência direta esteja restrita à calha e à planície de inundação. O limite de uma bacia de drenagem é conhecido como divisor de drenagem ou divisor de águas. O vale fluvial representa uma depressão alongada (de extensão longitudinal) constituída por um ou mais talvegues e duas vertentes (ou macrovertentes) com sistemas de declive convergente e que pode ser compreendido como uma planície à beira do rio ou várzea (Cunha et al 1996).

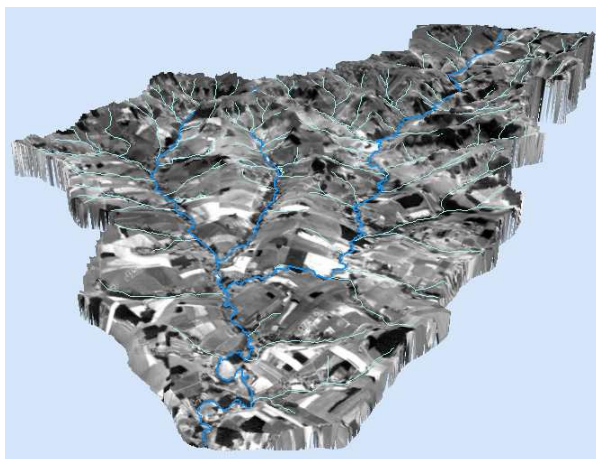


Figura 11: A bacia hidrográfica

Fonte: da autora

Christofolletti (1980) relata que as bacias hidrográficas podem ser classificadas segundo seu padrão de drenagem. O padrão de drenagem diz respeito ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em



sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Segundo suas características descritivas elas podem ser do tipo (figura 12):

- a) Dendrítica: ou arborescente porque se assemelha à uma árvore. A presença de ângulos retos neste padrão de drenagem, constitui anomalias que se deve atribuir geralmente aos fenômenos tectônicos;
- b) Treliça: os rios principais da bacia correm em paralelo recebendo afluentes na direção transversal. Este padrão é encontrado em estruturas sedimentares homoclinais, em estruturas falhadas e nas cristas anticlinais;
- c) Retangular: é uma modificação da drenagem em treliça, mantendo o aspecto ortogonal com bruscas alterações retangulares nos cursos das correntes fluviais tanto nos rios principais quanto nos tributários;
- d) Paralela: ocorre quando os cursos d'água, sobre uma área considerável ou em numerosos exemplos sucessivos escoam quase paralelamente . Ocorre normalmente em áreas de declive acentuado ou onde existem controles estruturais que motivem a ocorrência deste espaçamento regular;
- e) Radial: onde as correntes dos rios se encontram dispostas como raios de uma roda em relação a um ponto central. As correntes podem divergir a partir um ponto (drenagem centrífuga) ou convergir para um ponto (drenagem centrípeta);
- f) Anelar: assemelha-se a anéis como os que se formam com o crescimento anual dos dendros de uma árvore;
- g) Desarranjadas ou irregulares: são as que foram desorganizadas por bloqueio ou erosão, locais onde a drenagem ainda não conseguiu se organizar.



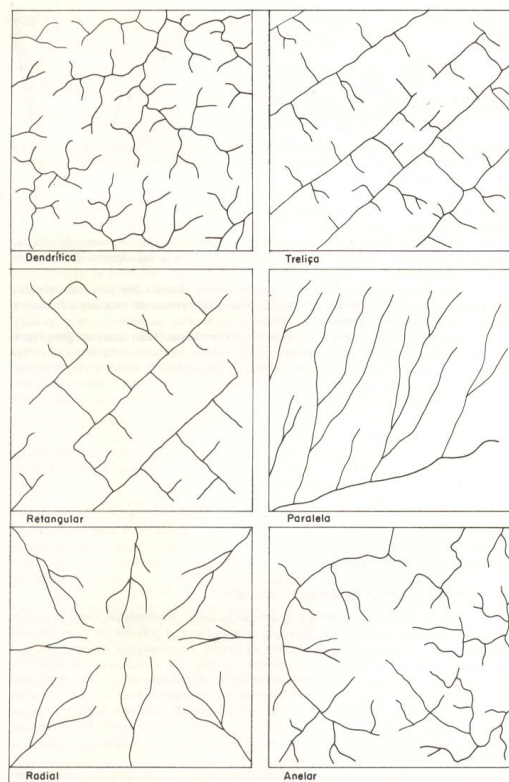


Figura 12: Padrões de drenagem de bacia hidrográfica

Fonte: Christofolletti, 1980, 104p.

Para finalizar, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica é acima de tudo um sistema natural, uma unidade da paisagem que funciona de forma até previsível em relação à influências externas (Seiffert, 1996), cabendo aos pesquisadores a tarefa de aprofundar análises levando à compreensão da dinâmica destes sistemas produzindo subsídios substanciais ao entendimento cada vez mais abrangente do meio em que se vive.



## 2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

A obtenção das redes de drenagem para análise utilizadas nesta pesquisa se deu através da utilização de produtos do sensoriamento remoto e, por este motivo, julga-se pertinente uma breve descrição das mesmas.

Os autores encontrados na literatura fornecem diferentes definições acerca do sensoriamento remoto porém, com muito pontos em comum. Robinson et al (1995), por exemplo, definem sensoriamento remoto como sendo o processo de coleta, armazenamento e extração de informações do meio ambiente a partir de imagens adquiridas sem o contato físico direto com o objeto de estudo.

Seguindo o mesmo pensamento, Kramer (1996) diz se tratar da medição ou aquisição de informações sobre algumas propriedades de um determinado objeto ou fenômeno, sem contato físico com os mesmos.

Mello (2002), diz que o Sensoriamento Remoto é um conceito relativamente novo e por isso, possui muitas interpretações, sendo este fato devido não somente à sua existência relativamente recente, mas também aos fatores seguintes:

- a) as divergências na compreensão do tempo histórico do surgimento do método;
- b) a interpretação do Sensoriamento Remoto como um método de investigação ou como um processo;
- c) a diferenciação, em alguns casos, das áreas de aplicação dos resultados.

O sensoriamento remoto para os recursos naturais tem sido definido de várias maneiras mas todas elas dizem se tratar de um conjunto de atividades utilizadas para obter informações sobre os recursos naturais através da utilização de dispositivos sensores colocados em aviões, satélites ou, até mesmo, na superfície terrestre (Moreira 2001). No Brasil o Sensoriamento Remoto foi impulsionado a partir da década de 70, quando houve a necessidade de se obter informações dos recursos naturais no projeto RADAMBRASIL (Bernardy & Loch, 2002).



A utilização de produtos de sensores remotos é reconhecida, na prática, todas as vezes que se realiza a interpretação de imagens para geração de produtos temáticos como mapas de uso da terra, geológicos, de vegetação, entre outros. Como exemplo da aplicação do sensoriamento remoto, pode-se citar o desenvolvimento de sistema de dados espaço-temporal capazes de comunicar como um fenômeno geográfico se modifica. Estes sistemas dão suporte a modelos e sistemas que, por sua vez, visam descrever melhor a dinâmica do meio ambiente (Ping et al, 2008).

A relação do sensoriamento remoto com a gestão ambiental, incluindo no que tange os recursos hídricos, é íntima na medida em que os planejadores necessitam analisar as propriedades, distribuição, potencialidades e restrições dos fenômenos que ocorrem num determinado espaço geográfico. A análise de fenômenos está associada á noção de sistema. Toda a ocorrência de eventos de uma bacia hidrográfica interfere no sistema como um todo. No entanto, a medida de algumas variáveis permite interpretar, pelo menos parcialmente, a soma de eventos. O método usual de análise, nestes casos, é mapear a unidade de estudo (Santos, 2004).

Os subitens abaixo trazem uma rápida descrição das técnicas de sensoriamento remoto utilizadas nesta tese, as quais deram origem aos dados primários cujos resultados e análise forneceram os subsídios necessários para a aplicação da teoria fractal.

### *2.3.1 Produtos do sensoriamento remoto*

A partir da utilização das técnicas de sensoriamento remoto faz-se possível a representação da superfície. Dentre os produtos que podem ser obtidos dois deles são importantes para esta pesquisa pois, destes são extraídas as redes de drenagem analisadas: a base cartográfica e o modelo digital do terreno (MDT).

A base cartográfica é uma carta topográfica utilizada como referência (base) a qual representa a superfície e elementos que a compõem. É um produto gerado a partir das normas cartográficas vigentes de um país em escalas diversas, para fins diversos. Entre os elementos representados estão as curvas de



nível, pontos cotados, hidrografia, estrutura fundiária, principais edificações, entre outros que se façam necessários (IBGE, 2010).

Um modelo digital do terreno (MDT) é a representação matemática da distribuição espacial de um fenômeno vinculado a uma superfície real e, pode também ser chamado de MNT (Modelo Numérico do Terreno) (INPE, 2011).

Os dados do MDT são geralmente representado por coordenadas  $x,y,z$  podendo ser adquiridos por um conjunto de pontos de coordenadas conhecidas ou por isolinhas. Quando se utiliza um conjunto de pontos para sua geração deve-se levar em conta que a quantidade de pontos utilizados está diretamente relacionado à qualidade final do produto. As isolinhas por sua vez representam uma superfície pela utilização de linhas de mesmo valor de coordenadas  $z$ .

A partir dos dados de entrada se pode gerar o MDT representado a superfície do terreno. Este modelo ainda pode representar a superfície através de uma grade retangular ou de uma grade triangular. A grade retangular representa a superfície através de um poliedro de faces retangulares sendo que os pontos que representam a superfície podem estar na extremidade deste poliedro ou no centro do mesmo. Já as grades triangulares como o próprio nome diz representam a superfície através da união dos pontos de coordenadas conhecidas formando triângulos. Destes modelos pode-se, a partir da aplicação de algoritmos, extrair informações acerca da superfície do terreno.

## **2.4 FOTOGRAMETRIA**

A quinta edição do Manual de Fotogrametria da Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto define a fotogrametria como sendo a “arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis acerca de objetos físicos do ambiente através dos processos de captura, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões eletromagnéticos de energia radiante e outros fenômenos” (ASPRS, 2004).

A fotogrametria pode ser sub-categorizada em função da plataforma que utiliza para a obtenção dos dados. Para a produção cartográfica no Brasil, a qual ocorre a partir da obtenção de fotografias aéreas obtidas utilizando-se câmeras montadas numa aeronave a qual sobrevoa a área a ser imageada sendo por esta razão denominada: aerofotogrametria (Nasa, 2011).



## 2.5 RADAR

Os sistemas de imageamento por radar possuem atributos comuns aos fotogramétricos, ambos, por exemplo, são sujeitos a distorções causadas por variações de elevação na superfície porém, os sistemas radar possuem vantagens em relação à técnica de fotogrametria como o fato de não haver prejuízo para obtenção de dados em função da presença de nuvens, um problema para a obtenção de fotografias aéreas (Liu, 2007).

Em específico aborda-se aqui o sensor radar, utilizado como fonte de dados desta pesquisa, o SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Este é parte de um programa desenvolvido pela NASA a qual desenvolveu um programa para obter informações altimétricas da superfície terrestre. Duas antenas fazem parte do sistema radar uma denominada banda C e outra denominada banda X. A partir da banda C deste sistema radar é possível gerar Modelos Digital do Terreno (MDT). Este produto será utilizado nesta pesquisa como fonte de dados primária à análise de redes de drenagem (NASA, 2010).

Os dados do SRTM estão gratuitamente disponíveis no sítio: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

## 2.6 LIDAR

Em meados de 2001 dos sistemas de varredura a laser (LIDAR) no mapeamento de áreas do território brasileiro foram introduzidos e trouxeram a expectativa positiva de se obter informações com qualidade posicional aumentar a geração e uso de produtos cartográficos planialtimétricos em meio digital (Vargas, 2007).

Pode-se dizer que existem atualmente três tipos de sistemas LIDAR (Fowler, 2001):

- I. Lidar topográfico: utilizado para determinar as coordenadas tridimensionais absolutas de pontos e/ou objetos na superfície do terreno;
- II. Lidar batimétrico ou hidrográfico: utilizado na determinação da profundidade de corpos d'água;
- III. Lidar atmosférico: utilizado em estudos atmosféricos (velocidade dos ventos, gases, vapor d'água, etc.).



Os dados provenientes do lidar topográfico aerotransportado são utilizados nesta pesquisa.

Um sistema laser scanning aerotransportado compreende uma unidade laser, um escâner óptico-mecânico e uma unidade de controle e processamento. A unidade laser compreende o emissor e o receptor, transmitindo e recebendo o padrão capturado na superfície iluminada pelo laser. O sensor laser scanning permite a coleta de uma grande densidade de medidas de elevação que ocorre através da medida do tempo que o pulso laser utiliza desde sua emissão à sua recepção (ASPRS, 2004).

A partir da manipulação dos dados laser pode-se gerar uma grande variedade de produtos combinando-os com outros tipos de dados os quais podem produzir resultados interessantes. Podemos citar, por exemplo, que é possível importar os pontos com coordenadas x,y e z para um SIG e criar um modelo digital raster (DEM) permitindo a criação de superfícies sombreadas. Com o mesmo DEM é possível a criação de mapas retificados (ortofotocartas) através da combinação dos dados LIDAR com imagens adquiridas por aerofotogrametria convencional ou imagens provenientes de câmeras digitais, gerando assim produtos derivados que podem ser utilizados para gerar as análises necessárias do meio.



### **3. MATERIAL E MÉTODO**

---

Neste capítulo descreve-se os equipamentos, softwares, dados de entrada, método de processamento e análise, que compõem o desenvolvimento desta pesquisa.

#### **3.1 MATERIAL E EQUIPAMENTOS**

Foram utilizados nesta pesquisa, os seguintes equipamentos:

- a) 01 computador Pentium com HD de 320G e 4G de memória RAM;
- b) Software ArcGIS 9.2;
- c) Planilha eletrônica Excel para o cálculo da dimensão fractal manual;
- d) Software BaciaFractal para o cálculo da dimensão fractal automatizada.

Os softwares utilizados neste trabalho são licenciados para o Laboratório de Fotogrametria Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Para o cálculo da Df foram utilizados os seguintes dados de entrada:



TABELA 02: FONTE DE DADOS UTILIZADOS NA PESQUISA

DESCRIÇÃO	TIPO DO DADO	ANO	ESCALA / RESOLUÇÃO/PRECISÃO
Carta Topográfica IBGE/EPAGRI	Vetorial digital	1978	1: 50.000
Pontos do sensor Laser Scanner	Arquivo *.txt	2007	4 metros de resolução no MDT
Base cartográfica	Vetorial digital	2007	1: 1.000
SRTM	raster	2000	90 metros

Os dados de entrada para o cálculo da Df necessitaram ser editados e, para a padronização do método de análise, utilizaram-se todos na forma vetorial possibilitando-se assim, uma comparação mais fidedigna.

A carta topográfica utilizada é a Joinville28703 a qual foi gerada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), editada e disponível para download através da Epagri de Santa Catarina, gratuitamente em meio digital, no formato shapefile, escala 1:50 000. Desta carta extraiu-se as camadas (layers) de hidrografia e curvas de nível foram importadas no software ArcGIS 9.2 onde posteriormente aplicou-se os métodos para determinação da Df.

A base cartográfica de 2007 foi produzido por aerofotogrametria pela empresa Aeroimagem S/A. Foi cedida para a realização desta pesquisa em concordância com a Prefeitura Municipal de Joinville. Está em meio digital sistematizada em cartas na escala 1:1 000 conforme as normas cartográficas brasileiras vigentes. Foram utilizados neste trabalho as camadas (layers) referentes à hidrografia e curvas de nível extraídas de 905 cartas e editadas utilizando-se o software ArcGIS 9.2, onde cada camada de informação foi transformada num arquivo shapefile.

Os dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) utilizados nesta pesquisa estão gratuitamente disponível no Brasil no site da Embrapa como um Modelo Digital do Terreno (MDT) no formato GEOTIFF (16 bits) com resolução



espacial de 90 metros, no sistema de coordenadas geográficas com o datum WGS-84 (Embrapa, 2005). Este produto é fruto de uma missão da NASA para obtenção de dados de elevação da superfície do globo terrestre o qual ocorreu durante 11 dias do mês de fevereiro do ano 2000 (Nasa, 2010). No web site da Embrapa encontra-se separado em folhas como partes de um mapeamento cartográfico, sendo utilizado para este trabalho o arquivo SG-22-Z-B.

Os dados laser scanning foram, assim como a base cartográfica de 2007, pela empresa Aeroimagem S/A e cedidos para esta pesquisa em concordância com a prefeitura municipal de Joinville. O sensor utilizado pela empresa denomina-se Leica ALS 60 e possui a frequência de 200kHz. O produto cedido para esta pesquisa consistiu em 360 arquivos \*.txt os quais possuíam informações previamente editadas acerca da superfície do terreno. Estes pontos foram importados para um software GIS e um arquivo modelo numérico do terreno (MNT) foi gerado a partir das coordenadas dos arquivos \*.txt. Observou-se neste arquivo gerado que os pontos distavam em 4 metros entre si ou seja, o pixel do produto gerado possui 4x4m ou 16 m<sup>2</sup>. Salienta-se que este produto não é explorado nesta pesquisa até o limite de sua precisão e sim, é gerado um produto passível de comparação aos demais produtos utilizados nesta pesquisa.

### **3.2 MÉTODO**

O cerne desta pesquisa baseia-se no conceito da geometria fractal e sua aplicação na análise da rede de drenagem de bacia hidrográfica. Como descrito na revisão de literatura a aplicação deste conceito se dá através do cálculo da dimensão fractal de um elemento ou feição localizado geograficamente sobre a superfície terrestre, e nesta pesquisa pelo método Box-counting.

As etapas e atividades necessárias para o desenvolvimento da pesquisa se resumem no quadro abaixo:



TABELA 03: RESUMO DAS ETAPAS E ATIVIDADES DA PESQUISA

Fonte: da autora

Etapa	Atividade
1. Pesquisa Bibliográfica	Definição do método de aplicação da teoria fractal. Definição da área de estudo.
2.Obtenção dos dados de entrada	Seleção dos dados disponíveis para download na rede www (base cartográfica do IBGE e dados SRTM).
3.Edição dos dados de entrada	Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira e sub-bacias; Seleção dos layers de hidrografia da Base Cartográfica de 2007 e 1978; Extração da rede de drenagem dos dados laser scanner e SRTM; Edição das redes de drenagem do diferentes produtos cartográficos planialtimétricos.
4.Cálculo da dimensão fractal	Pelo método Manual: softwares ArcGIS + planilha eletrônica; Pelo método Automatizado: softwares ArcGIS – BaciaFractal.
5. Análise dos Resultados	Comparação dos valores de Df obtidos em dados planimétricos e planialtimétricos.
6.Conclusões e Recomendações	Apresentação das conclusões obtidas através das análises dos resultados apontando as recomendações para uma boa aplicação do método e de trabalhos futuros.

Sendo que para se cumprir as etapas metodológicas propostas foi necessário seguir-se a seqüência apresentada na figura 13:



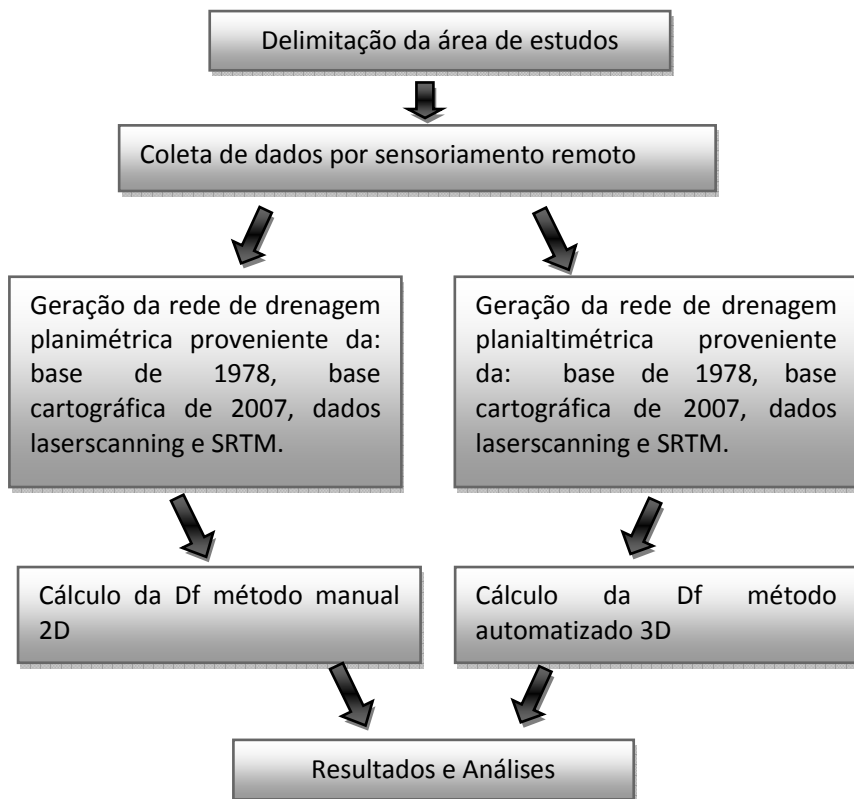


Figura 13: Organograma do método de pesquisa

Fonte: da autora

O cálculo da dimensão fractal através do método Box-counting ocorre recobrando-se o objeto (a imagem) com uma grade de tamanho 'd' e conta-se o número de quadros (N) que contém alguma parte do objeto aplicado-se, após, a equação 1:

$$D = \lim \frac{\log N}{-\log d} \quad (1)$$

Variando-se as dimensões da grade plotam-se os valores obtidos num gráfico  $\log N \times \log d$  o qual fornece um gráfico na forma de reta cujo coeficiente angular ( $k_0$ ) numa equação tal qual a equação 2 abaixo, é o valor da Df:



$$\text{Log}N(d) = -k_0 \log d + \log \mu \quad (2)$$

Neste trabalho a aplicação do método Box-counting deu-se a partir da experimentação de dois modos: um denominado método Box-counting manual o qual utiliza a rede de drenagem planimétrica e outro denominado Box-counting automatizado o qual utiliza a rede de drenagem com informação planialtimétrica.

### 3.2.1 *Extração da rede de drenagem*

Para as bases cartográficas a extração de dados vetoriais acerca da rede de drenagem deu-se a partir da edição de camadas de informação hidrografia e curvas de nível, separando-se estas informações em arquivos no formato shapefile.

Para os dados SRTM e laser scanning, diferentemente das bases cartográficas, necessitou-se a extração da rede de drenagem. Os dados SRTM já se encontravam na forma de um Modelo Numérico do Terreno (MNT) enquanto que para os pontos de coordenadas x,y,z do laser scanning fez-se necessária a geração de um MNT. Após, foi necessário proceder-se com a aplicação de um algoritmo capaz de extrair deste modelo de superfície o delineamento da rede de drenagem. Para tanto foi necessário inicialmente se corrigir falhas como a existência de depressões ao longo dos canais fluviais (sinks). Posteriormente aplicou-se a metodologia proposta por Tarboton & Rodríguez-Iturbe (1991) na qual utiliza-se um grupo de 8 células (pixels) para determinar a direção de fluxo da rede de drenagem, algoritmo conhecido como D8, devendo-se, neste momento, definir o número de células que serão utilizadas no procedimento e, finalmente, obtém a rede de drenagem.

Sendo assim, para o produto SRTM manipulou-se o MNT para extrair a rede de drenagem da bacia hidrográfica definindo-se aleatoriamente o número de células em grupos de 500, 250, 100 e 50 (figura 14), o que equivale a respectivamente 4.050.000, 2.025.000, 810.000 e 405.000 m<sup>2</sup> de área. A diferença do número de células tem como objetivo calcular a diferença nos valores de dimensão fractal em função da diferença deste parâmetro.



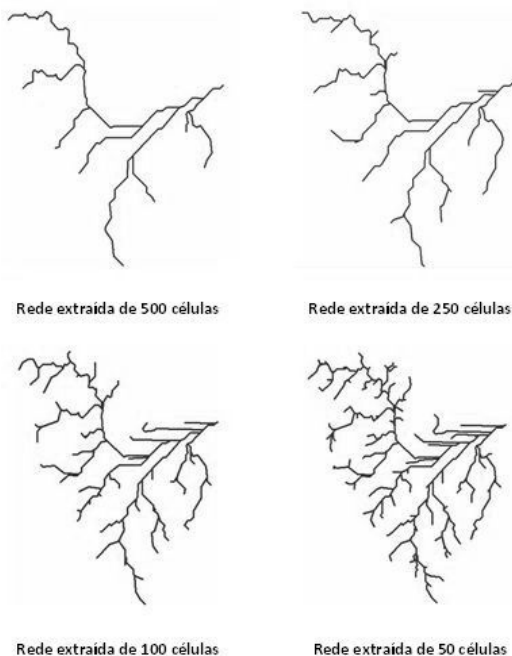


Figura 14: Redes de drenagem geradas com dados SRTM

Fonte: da autora

A partir do mesmo procedimento descrito para os dados SRTM, geraram-se redes de drenagem para os dados laser scanning com um grupo de 50.625, 25.312, 10.000 e 5.000 células. O grupo de 50.625 células foi assim determinado de modo a fornecer uma comparação compatível com o SRTM 100 em área (810.000 m<sup>2</sup>) e o conjunto de 25.312 para coincidir com o SRTM 50 em área (405.000 m<sup>2</sup>). Objetivou-se assim quantificar a diferença do valor da dimensão fractal variando-se este parâmetro (número de células) o que conseqüentemente varia a forma da rede de drenagem, como pode ser visto na figura 15.



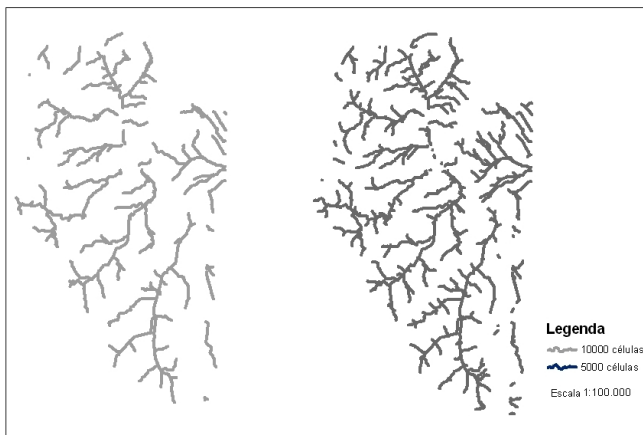


Figura 15: Redes de drenagem geradas com dados laser scanning

Fonte: dados laser scanning

Os dados laser scanning foram produzidos para a área urbana do município de Joinville não recobrendo toda a área de estudos desta pesquisa (figura 15). Mas em função da precisão altimétrica de até 15cm que seu produto possui e importância para o atual mercado dos produtos do sensoriamento remoto, os dados disponíveis para esta área serão utilizados como método de comparação neste trabalho.

### 3.2.2 Contagem de Caixas (Box-counting) Manual

Este método de cálculo de Df baseia-se na descrição do Box-counting mostrado na revisão de literatura desta pesquisa. Utiliza-se como objeto de análise as redes de drenagem obtidas da forma citada no sub-item anterior estando as mesmas com coordenadas planialtimétrica. Após, gera-se no software ArcGIS uma grade de dimensões conhecidas que se inicia com as dimensões 1000x1000 metros e decresce para 500x500 metros, 250x250 metros, 100x100 metros e 50x50 metros ('d') (figura 16). Após a geração da grade sobre a rede de drenagem conta-se o número de caixas (boxes) ('N') que sobrepõem o elemento rede de drenagem e possui parte do mesmo em seu interior. Contando-se o número de caixas, plota-se um gráfico  $\log(N) \times \log(d)$  na planilha eletrônica Excel, obtendo-se uma reta definida por 5 pontos e, seu coeficiente angular fornece o valor da Df do objeto de análise.



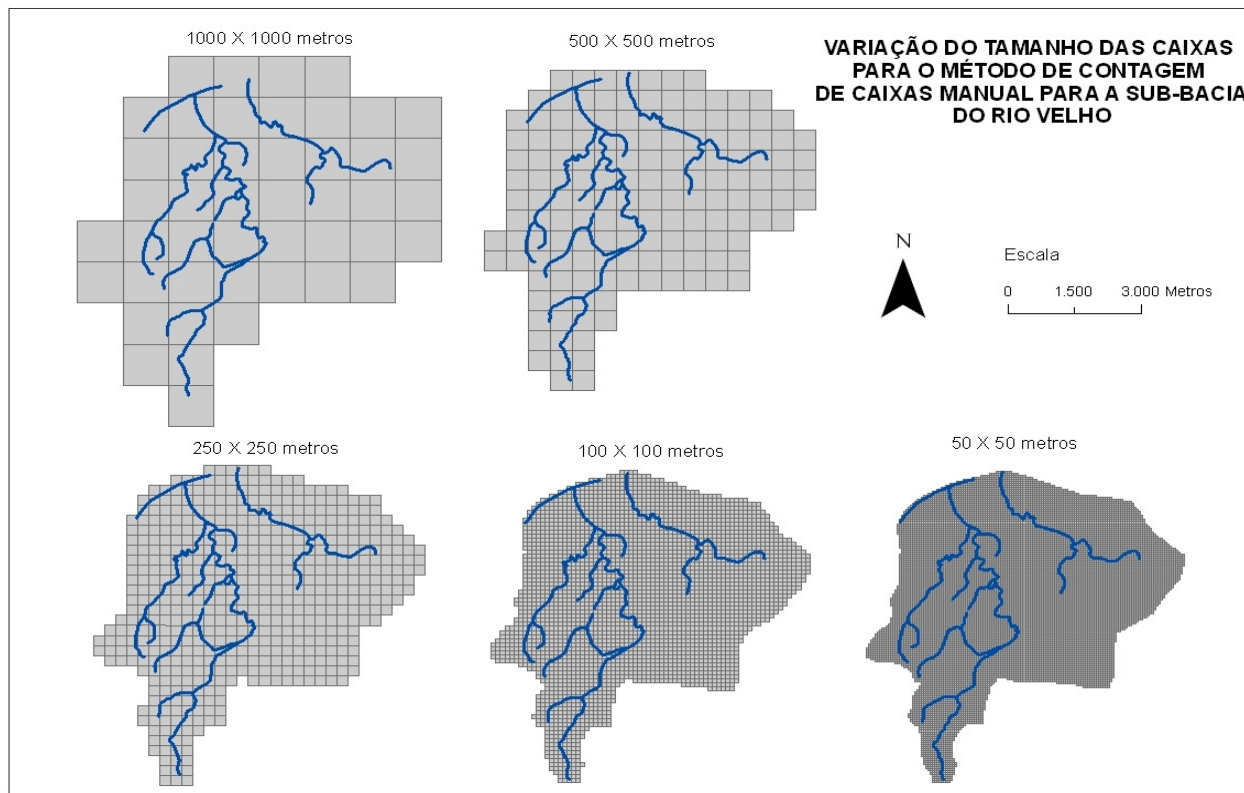




Figura 16: Variação do tamanho das caixas (boxes) / Fonte: adaptado da base cartográfica 2007



O procedimento foi realizado para a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira como um todo e também para 5 (cinco) sub-bacias para cada uma das redes de drenagem obtidas em quatro diferentes tipos de produtos do sensoriamento remoto.

### *3.2.3 Método de contagem de caixas (Box-counting) automatizado*

No método automatizado utiliza-se o software 'BaciaFractal' gerado em parceria com o Dr-Ing Alexandre Hering Coelho. Trata-se da automatização do método Box-counting manual a qual resultou num programa de computador.

O programa denominado 'Bacia Fractal' utiliza linguagem Java e o banco de dados geográficos PostGIS (banco de dados relacionado ao objeto com licença livre) para o armazenamento dos dados. Para a visualização dos dados geográficos foi elaborado um ambiente virtual tridimensional em OpenGL. A saída dos resultados se dá sob a forma de gráfico cuja visualização é elaborada automaticamente com o auxílio do programa Gnuplot (uma plataforma para geração de gráfico com licença livre), e também sob a forma de texto em janela DOS.

O programa utiliza dados de entrada exclusivamente vetoriais as quais são: uma camada com o polígono que descreve o limite da bacia hidrográfica (área) e uma camada com a rede de drenagem (linhas). O limite da bacia é representado por coordenadas bidimensionais e a rede de drenagem por coordenadas tridimensionais.

O processamento envolve um loop, onde o valor inicial da aresta do cubo é o maior e o valor final é o menor, sendo em cada iteração decrescido do passo (intervalo de variação da dimensão do cubo a cada loop). Desta forma o número de cubos necessários para cobrir toda a área aumenta em cada iteração, e conseqüentemente o tempo de processamento e o número de passos utilizados para gerar a reta.

O programa é capaz de analisar os dados tridimensionalmente. Porém, quando o número de cubos na vertical necessários para abranger a rede de drenagem se torna diferente de um, o programa assinala o ponto de alteração e continua calculando valores de dimensão fractal.

Para a utilização do software é necessário ter-se o limite da bacia hidrográfica análise com informação planimétrica e a rede de drenagem com a



informação altimétrica no formato shapefile. Estes arquivos são armazenados no banco de dados utilizando-se a seguinte linha de comando: *shp2pgsql -S rios\_cachoeira.shp public.rios\_cachoeira | psql -U fernanda -d Fernanda*, onde 'rios\_cachoeira.shp' é o arquivo a ser importado para o banco de dados 'Fernanda'.

A seguir abre-se o software bacia fractal cuja interface é mostrada na figura 17.

Figura 17: Interface de entrada de dados do software bacia fractal

Fonte: software bacia fractal

Na figura 17 observa-se três modos de uso disponíveis ao usuário:

- a) visualização,
- b) processamento e;
- c) processamento com visualização

Também se observam os campos a serem preenchidos:

- i. tabela bacias: onde se insere o nome do arquivo com o limite da bacia hidrográfica em análise,
- ii. identificador da bacia: constante no arquivo shapefile gerado,
- iii. tabela de drenagem: onde se insere o nome do arquivo shapefile da rede de drenagem planialtimétrica da bacia hidrográfica;



- iv. Dimensão inicial: onde se define qual o valor inicial da grade que irá sobrepor a rede de drenagem e será reduzido com o passar das iterações (loop) do software;
- v. Dimensão final: onde se define qual a dimensão limite inferior para a grade que irá sobrepor a rede de drenagem e;
- vi. Passo: onde se determina o quanto a grade irá diminuir suas dimensões de uma iteração para outra (loop), lembrando-se que o número de iterações determina o número de pontos que formam a reta cujo coeficiente angular é a Df.

Os modos de uso: visualização, processamento e processamento com visualização permitem ao usuário diferentes iterações com o software. Quando selecionada a opção visualização aparecem-se em tela três caixas de diálogo simultaneamente: a mostrada na figura 18 , outra do processamento em DOS (figura 19) e outra da rede de drenagem sendo recoberta pela grade de tamanho determinado (figura 20).

**Bacia Fractal**

Modo de uso

☒ Visualização ☐ Processamento ☐ Proc. com visual

Tabela bacias: subbh\_boavista

Identificador da bacia: 1

Tabela drenagem: boavista78\_3d

Dimensão do cubo (m): 750

Dimensão final (m) - menor: 50

Passo (m): 50

Dados devem estar em UTM

Processar

Figura 18: Modo de uso visualização do software bacia fractal

Fonte: software bacia fractal



```
Bacia Fractal
ciclo 70
numCubosX = 82
numCubosY = 43
numCubosZ = 2
MARCOU LIMITE!
dimensao = 70.0; cubos intersectados = 282
a = -1.107677937429093
b = 4.524580060941409
r = 0.9969204054005317
=====
ciclo 71
numCubosX = 96
numCubosY = 51
numCubosZ = 2
MARCOU LIMITE!
dimensao = 60.0; cubos intersectados = 339
a = -1.104342000443054
b = 4.5157647825102
r = 0.9971442966979462
=====
ciclo 72
numCubosX = 115
numCubosY = 61
numCubosZ = 2
MARCOU LIMITE!
dimensao = 50.0; cubos intersectados = 406
a = -1.100293464637712
b = 4.505106392195571
r = 0.997328329199972
=====
ciclo 73
numCubosX = 144
numCubosY = 76
numCubosZ = 2
MARCOU LIMITE!
dimensao = 40.0; cubos intersectados = 501
a = -1.094890815727082
b = 4.490943325404491
r = 0.9974358339705796
=====
ciclo 74
numCubosX = 191
numCubosY = 101
numCubosZ = 3
MARCOU LIMITE!
dimensao = 30.0; cubos intersectados = 667
a = -1.088741720439838
b = 4.474903377046284
r = 0.9975248349054006
=====
ciclo 75
numCubosX = 287
numCubosY = 151
numCubosZ = 4
MARCOU LIMITE!
dimensao = 20.0; cubos intersectados = 999
a = -1.081532190285398
b = 4.456212569728327
r = 0.9976022875110253
PRONTO!!!
```

Figura 19: visualização em DOS do processamento do software bacia fractal



Fonte: software bacia fractal

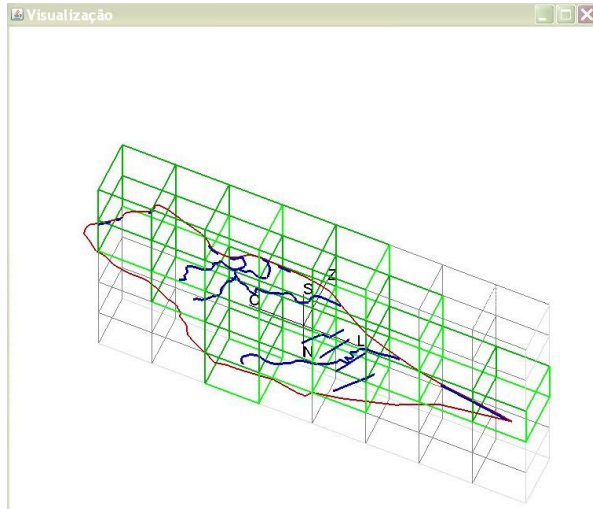


Figura 20: Visualização da grade sobre a rede de drenagem no software bacia fractal

Fonte: software bacia fractal

Na figura 20 os cubos que interceptam a rede de drenagem estão em verde, o limite da bacia hidrográfica em vermelho e a rede de drenagem propriamente dita em azul.

Ao seleccionar-se o modo de uso processamento a caixa de diálogo da visualização da grade sobre a rede de drenagem é substituída pelo gráfico  $\log(N) \times \log(d)$  obtendo-se assim a figura do gráfico (figura 21) o qual mostra a reta, a equação da reta, seu coeficiente angular ( $Df$ ), e o índice de correlação entre os dados ( $r$ ).



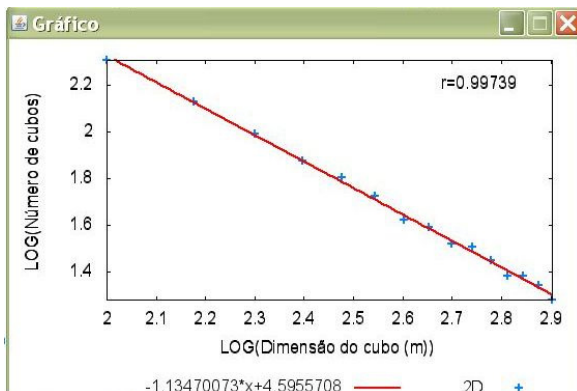


Figura 21: Gráfico gerado no software bacia fractal

Fonte: software bacia fractal

Caso o gráfico gerado tenha fornecido uma variação tal de tamanho de caixa que necessite de um número de cubos em 'z' para recobrir a rede de drenagem, um limite aparecerá no gráfico (linha vertical amarela) mostrando a partir de que iteração o fato ocorreu (figura 22).

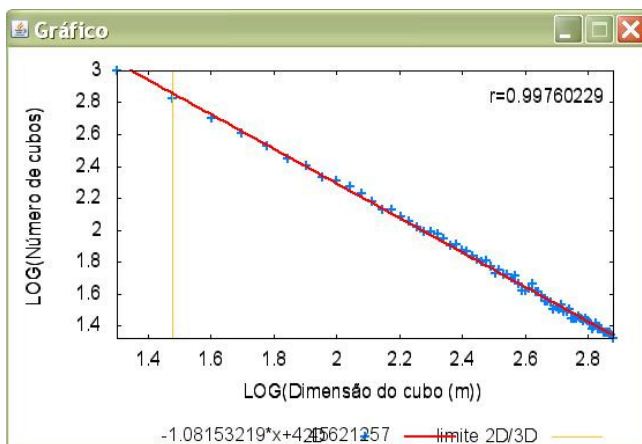


Figura 22: Gráfico com limite planimétrico/planialtimétrico gerado no software bacia fractal

Fonte: software bacia fractal

Ao seleccionar-se o modo de uso de processamento com visualização, todas as caixas de diálogo anteriormente descritos são mostrados ao usuários



incluindo a visualização que, quando possuir informação em mais de uma camada no eixo 'z', mostrará os cubos necessários para recobrir o elemento analisado (figura 23).

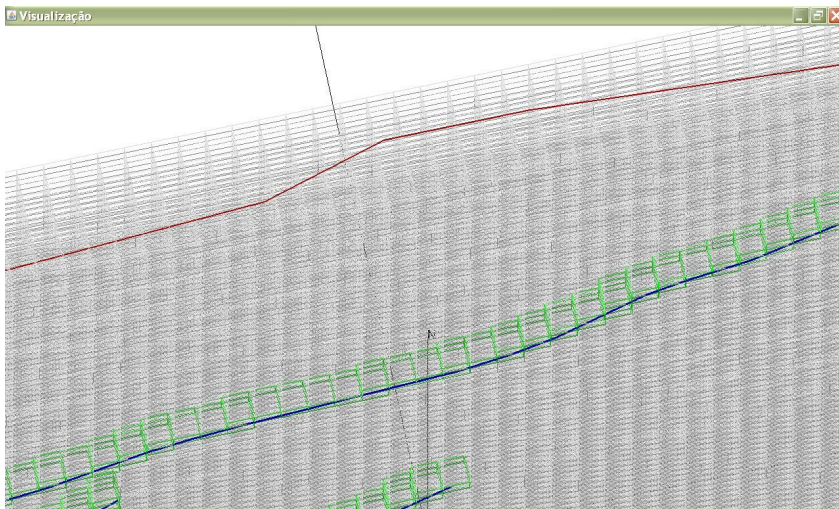


Figura 23: Cubos recobrendo a rede de drenagem no software bacia fractal

Fonte: software bacia fractal

Como pode ser verificado na figura 23 os cubos não realizam uma análise em três dimensões formando camadas de cubos a medida que se varia o tamanho do cubo. Ainda não existe tal algoritmo para ser implementado de modo que, mesmo se utilizando a rede com informação planialtimétrica a análise é também realizada considerando-se a característica altimétrica do elemento porém, não sendo possível recobrir-se o mesmo com camadas de cubos para se obter a dimensão fractal em 3D.

#### 3.2.4 Análises dos resultados

Uma vez estabelecido o método utilizado para determinar a  $D_f$  da rede de drenagem faz-se necessário ponderar a respeito de alguns aspectos que devem ser levados em consideração, pois, podem influenciar os resultados obtidos, são eles:



- I. As características morfológicas da Bacia Hidrográfica e sub-bacias analisadas (comprimento dos canais fluviais, relevo, etc);
- II. A utilização de diferentes produtos do sensoriamento remoto que levará a valores diferentes de dimensão fractal em função das diferentes redes de drenagem fornecidas para a mesma área;
- III. As diferentes datas dos dados utilizados que podem mostrar alterações ocorridas na paisagem neste período de tempo e, como consequência também podem fornecer diferentes valores de dimensão fractal;
- IV. A utilização dos dados em 2D e 3D no método automatizado deverá fornecer diferentes resultados obtidos as análises a serem realizadas.

Isto posto, para que os resultados obtidos pelos métodos manual e automatizado fossem comparados e analisados além da média dos valores de  $D_f$  optou-se por tomar-se um dos produtos do sensoriamento remoto como referência para se verificar os diferentes valores obtidos para as redes de drenagem, como mostra o organograma na figura 24. Primeiramente tomou-se a base cartográfica de 1978 por se tratar do produto cartográfico mais antigo, ou seja, cujas feições podem ter sido menos alteradas pela ação antrópica calculando-se assim a média e desvio da média como o proposto por Mandelbrot (2006) e Turcotte (1992) e aplicado por Lopes et al (2002) considerando a natureza fractal dos canais de drenagem com características estatisticamente auto-similares.

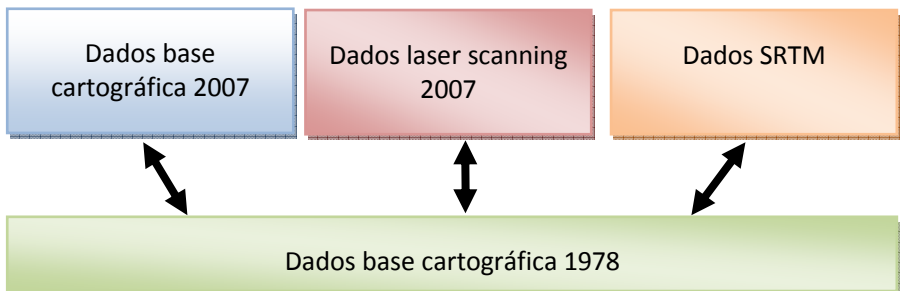


Figura 24: Organograma de análise com referência na base cartográfica de 1978

Fonte: da autora



Uma vez comparados os valores de Df com referência na informação mais antiga da rede de drenagem utilizada nesta pesquisa, partiu-se para análise com referência no produto obtido por laser scanning uma vez que se trata do produto cartográfico com grande precisão altimétrica ficando a análise da média e desvio padrão como mostra a figura 25.

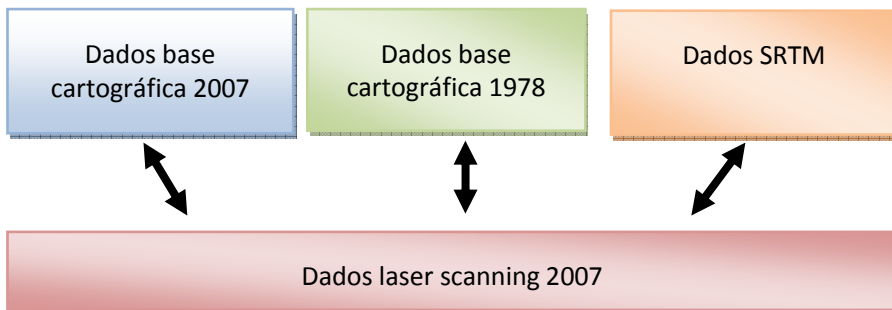


Figura 25: Organograma da análise com referência nos dados laser scanning

Fonte: da autora

Para melhorar a análise relacionam-se os valores de dimensão fractal obtidos com a densidade de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira e sub-bacias, procurando verificar a influencia desta informação no cálculo da dimensão fractal como mostra a figura 26. Neste caso um valor médio de Df para todos os dados é calculado bem como o desvio da média para da produto em relação ao valor médio encontrado.

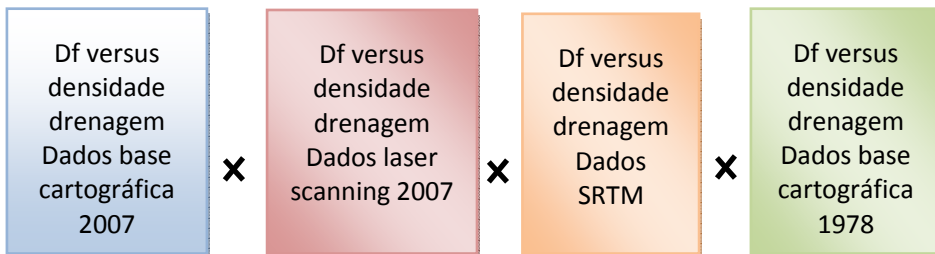


Figura 26: Organograma de análise de todos os dados

Fonte: da autora



Por fim, são comparados os valores encontrados para os dados das datas mais próximas no intuito de se analisar as diferenças de Df e determinar se o fato ocorre em função das diferentes datas dos diferentes produtos do sensoriamento remoto utilizados como fonte de dados como mostra a figura 27.

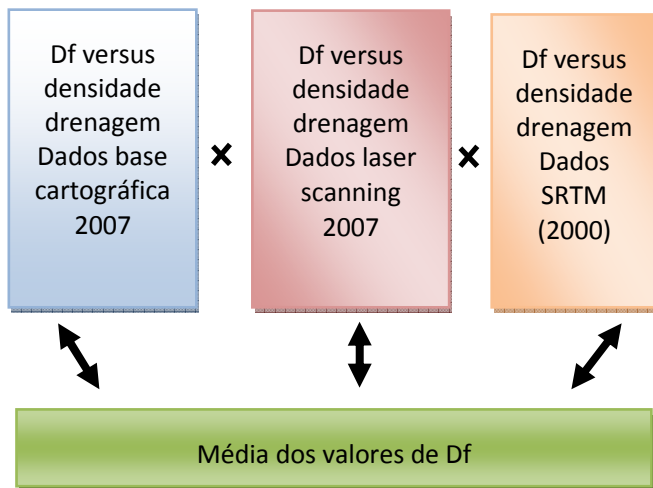


Figura 27: Organograma de análise dos dados mais recentes

Fonte: da autora

Uma vez realizadas as comparações através de cálculos de média e desvio da média finalizam-se as análises e parte-se para as conclusões da pesquisa descritas no capítulo subsequente.



## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Nos próximos descreve-se os resultados obtidos para a determinação do padrão fractal e os respectivos valores Df para a BHRC e suas sub-bacias sob a forma de tabelas, gráficos e valores os quais são, posteriormente, analisados.

### 4.1 RESULTADO OBTIDO COM O MÉTODO MANUAL

Nos subitens inserido no item 4.1 estão descritos os dados obtidos para cada um dos produtos do sensoriamento remoto utilizados como fonte de dados desta pesquisa.

#### 4.1.1 Resultados da base cartográfica de 1978

Para a rede de drenagem extraída da base cartográfica digital do IBGE do ano de 1978 na escala 1: 50 000, obteve-se como resultado o gráfico gerado apresentado na figura 28:

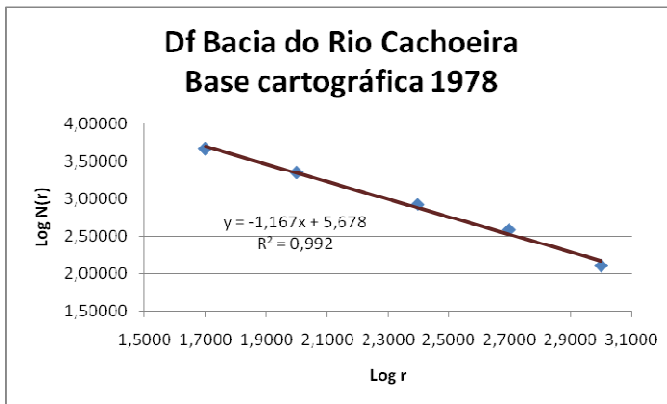


Figura 28: Df da BHRC para a base cartográfica de 1978

Fonte: da autora



A partir da equação da reta obtida no gráfico verifica-se o coeficiente angular da mesma ( $\Delta y / \Delta x$ ), o que corresponde ao valor da dimensão fractal (Df) da bacia hidrográfica. Para este caso temos que a Df da Bacia do Rio Cachoeira é de **1,1671**. Para as sub-bacias obtiveram-se as retas abaixo (figura 29):

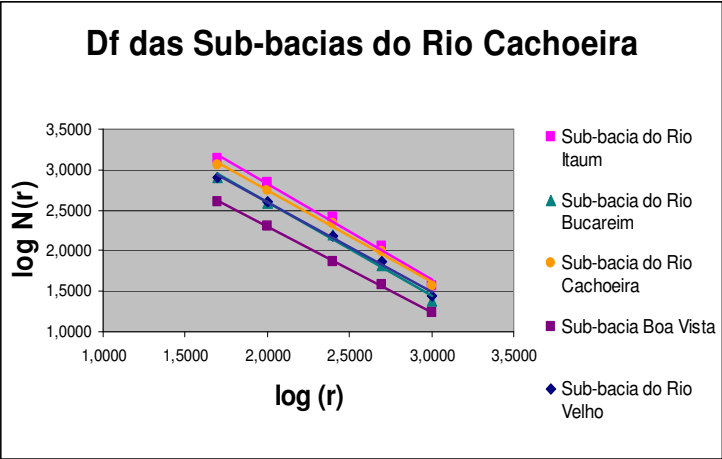


Figura 29: Df das sub-bacias para a base cartográfica de 1978

Fonte: da autora

As equações das retas acima e as respectivas Df são:

TABELA 04: Df DAS SUB-BACIAS DA BHRC

Fonte: da autora

Sub-bacia	Equação	Df
Rio Velho	$y = -1,1077x + 4,8143$	1,1077
Rio Itaum	$y = -1,1881x + 5,2059$	1,1881
Rio Bucareim	$y = -1,1585x + 4,9101$	1,1585
Rio Cachoeira	$y = -1,1291x + 5,003$	1,1291
Boa Vista	$y = -1,0522x + 4,3999$	1,0522



#### 4.1.2 Resultados da Base cartográfica de 2007

Na figura 30 tem-se a Df da BHRC e sub-bacias para a rede de drenagem da base cartográfica de 2007.

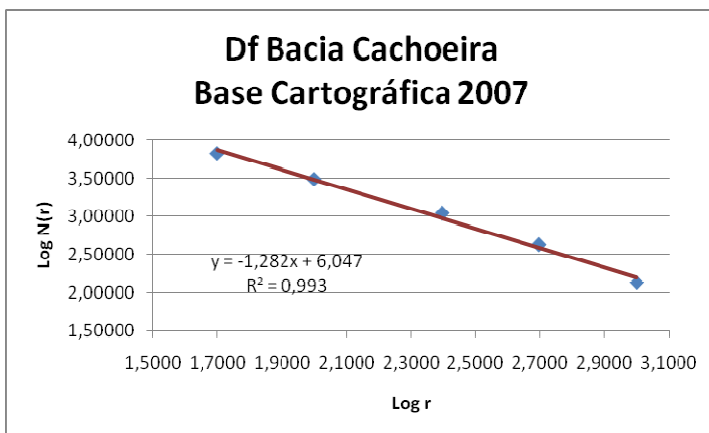


Figura 30: Df da BHRC para a base cartográfica de 2007

Fonte: da autora

Para a equação da reta apresentada no gráfico da figura 28 Temos que o valor de Df para a Bacia do Rio Cachoeira é igual a **1,282**.

Para as sub-bacias tem-se o gráfico, as respectivas equações e os valores da Df encontrados para as sub-bacias (figura 31).



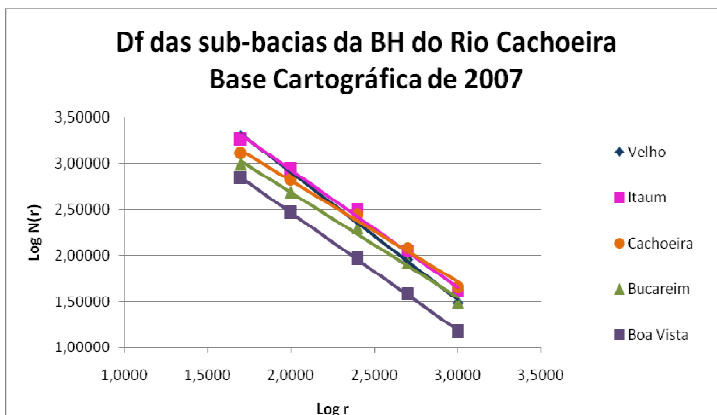


Figura 31: Df das sub-bacias para a base cartográfica de 2007

Fonte: da autora

TABELA 05: Df DAS SUB-BACIAS DA BHRC PARA A BASE DE 2007

Fonte: da autora

Sub-bacia	Equação	Df
Rio Boa Vista	$-1,275x+5,014$	1,275
Rio Bucareim	$-1,135x+4,957$	1,135
Rio Cachoeira	$-1,095x+5,005$	1,095
Rio Itaum	$-1,268x+5,462$	1,268
Rio Velho	$-1,384x+5,670$	1,384

Os resultados até então mostrados foram obtidos com a rede de drenagem extraída das base cartográfica sem edições de suas feições. No entanto, em função da escala do produto bem como do método de obtenção dos dados da rede de drenagem, observaram-se inúmeros canais não conectados à rede de drenagem. No intuito de verificar os valores a serem obtidos de Df optou-se por editar os dados retirando-se os pequenos canais desconectados da rede e calculando-se novamente o valor de Df de modo a verificar as alterações que poderiam ser obtidas. A figura 32 mostra a rede de drenagem obtida da base cartográfica de 2007 sem edição e com edição. Percebe-se que uma grande



quantidade de fragmentos da rede de drenagem foram removidos através de uma edição manual onde se excluiu os canais sem conexão.

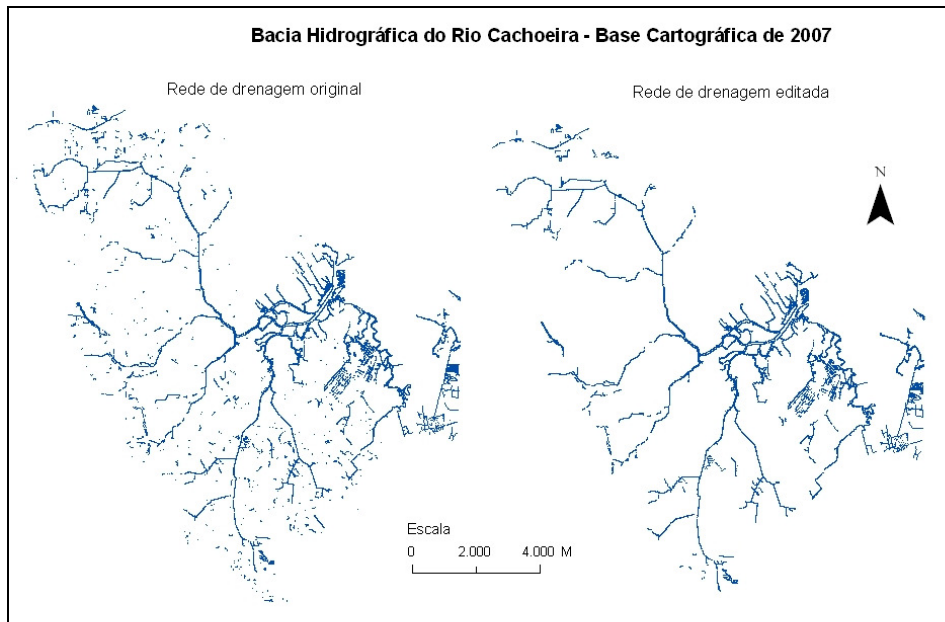


Figura 32: Edição da rede de drenagem obtida com a base cartográfica 2007

Fonte: Base Cartográfica de 2007, Aeroimagem S/A

Calculando-se a  $D_f$  para a BHRC obteve-se:



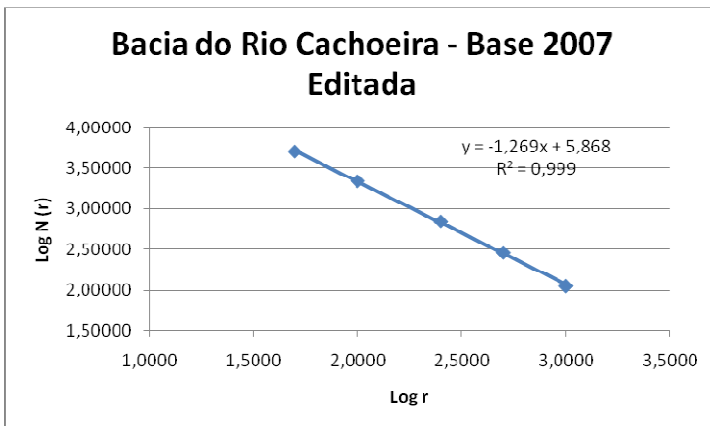


Figura 33: Df das sub-bacias para a base cartográfica de 2007 editada

Fonte: da autora

Observa-se no gráfico da figura 33 que o valor obtido de Df da rede editada é de 1,269, e, comprando-se este valor com o obtido para a base cartográfica não editada tem-se uma diferença de 1%. Por considerar este valor baixo, é utilizada a rede de drenagem original sem edição para as análises.

#### 4.1.3 Dados obtidos a partir do laser scanning 2007

A partir do MDT gerado com os dados laser scanning extraiu-se a rede de drenagem como descrito na metodologia deste trabalho variando-se o número de células para a extração da rede de drenagem. Observa-se que este procedimento varia a rede de drenagem extraída como pôde ser visto no subitem 3.2.1 desta pesquisa.

Observou-se haver significativa diferença entre a rede gerada com um grupo de 10.000 células e outra gerada com 5.000 células. Para se realizar uma análise mais aprofundada, optou-se por verificar o padrão fractal em diferentes redes de drenagem obtidas com o perfilamento a laser.



Para a rede de drenagem extraída de um conjunto de 10.000 células tem-se o valor de dimensão fractal mostrado na figura 34:

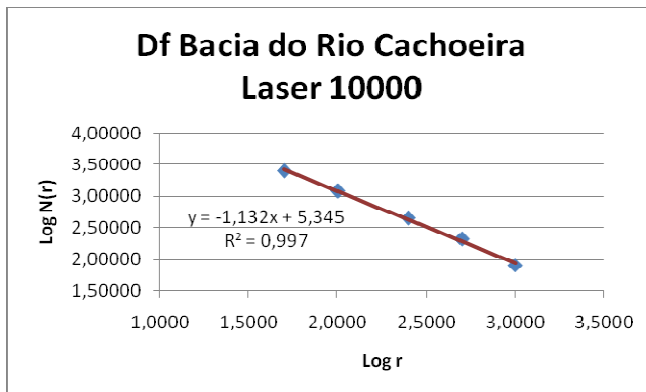


Figura 34: Df da BHRC com os dados laserscanning 10.000

Fonte: da autora

O valor do coeficiente angular da reta representada na figura 34 nos dá um valor de Df igual a **1,132**.

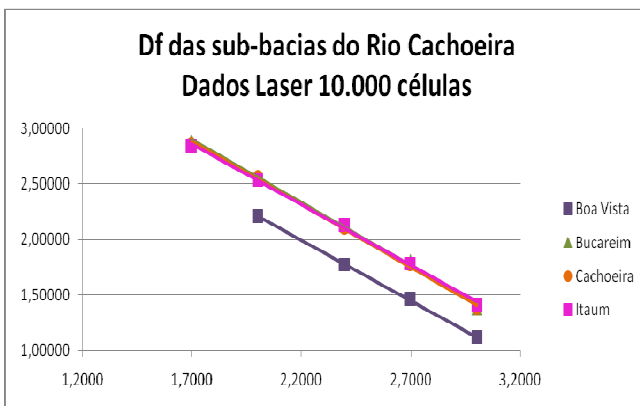


Figura 35: Df das sub-bacias com os dados laserscanning 10.000



Fonte: da autora

TABELA 06: Df DAS SUB-BACIAS DA BHRC PARA O LASERSCANNING 10.000

Fonte: da autora

Sub-bacia	Equação	Df
Rio Boa Vista	$-1,088x+4,387$	1,068
Rio Bucareim	$-1,134x+4,828$	1,134
Rio Cachoeira	$-1,136x+4,816$	1,136
Rio Itaum	$-1,087x+4,705$	1,087

A tabela 06 mostra os valores de Df fractal obtidos para os dados laserscanning para uma rede de drenagem obtida com um grupo de 10.000 células.

Para a rede de drenagem obtida a partir do laser scanning por um conjunto de 5000 células tem-se os resultados abaixo (figura 36):

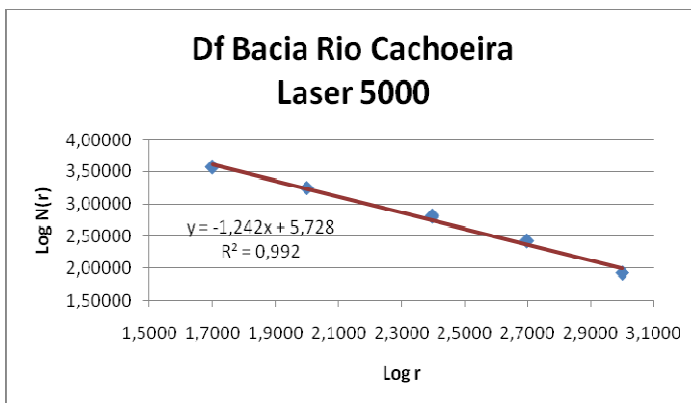


Figura 36: Df da BHRC com os dados laserscanning 5.000

Fonte: da autora



A equação do gráfico da figura 36 nos dá uma Df de **1,242** para a Bacia do Rio Cachoeira.

Para as sub-bacias temos:

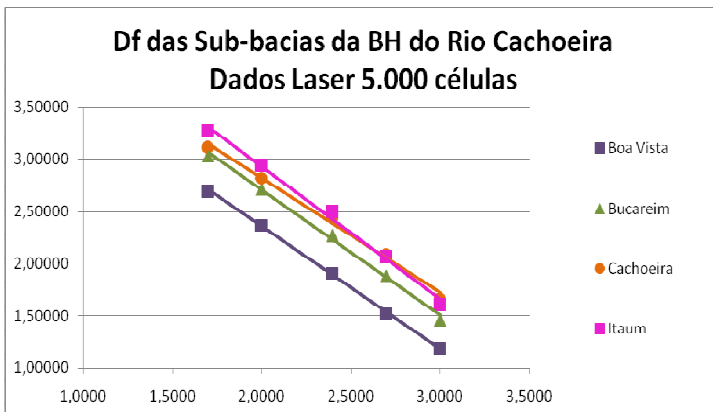


Figura 37: Df das sub-bacias com os dados laserscanning 5.000

Fonte: da autora

As equações das retas mostradas na figura 37 seguem na tabela 07:

TABELA 07: Df DAS SUB-BACIAS DA BHRC PARA O LASERSCANNING 5.000

Fonte: da autora

Sub-bacia	Equação	Df
Rio Boa Vista	$y = -1,174x + 4,702$	1,174
Rio Bucareim	$y = -1,201x + 5,104$	1,201
Rio Cachoeira	$y = -1,095x + 5,005$	1,095
Rio Itaum	$y = -1,268x + 5,462$	1,268

#### 4.1.4 Dados obtidos a partir do sensor SRTM



O MDT gerado através dos dado SRTM foi utilizado para se extrair a rede de drenagem da BHRC. Testou-se assim, a extração dos dados utilizando-se diferentes quantidades de células agrupadas e verificou-se os valores de Df, da mesma forma como procedido com os dados laserscanning. O objetivo consistiu em observar a influência das diferentes quantidades de células utilizadas na extração da rede de drenagem no cálculo da Df. Para testar as redes SRTM utilizaram-se conjuntos compostos de 500, 250, 100 e 50 células.

Os cálculos para os diferentes dados para a bacia do Rio Cachoeira como um todo e as respectivas análises seguem abaixo.

Foram encontrados os resultados mostrados na figura 38:

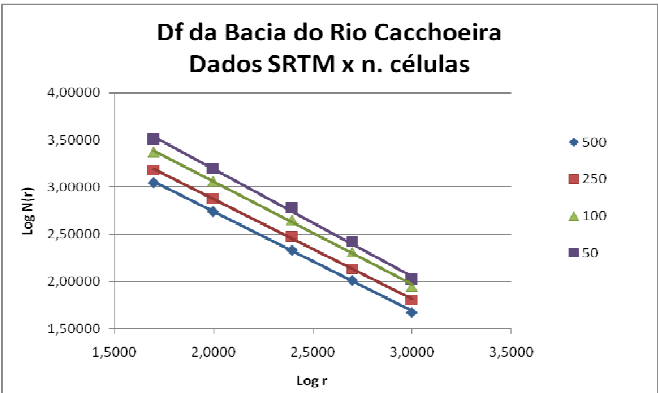


Figura 38: Df da BHRC com as diferentes redes de drenagem SRTM

Fonte: da autora

A tabela 08 mostra os valores encontrados de Df com o método manual para a BHRC variando-se a rede de drenagem.

TABELA 08: Df DA BHRC DAS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM

Fonte: da autora

BHRC	Nº células	Equação	Df
	500	Y=-1,050x+4,838	1,050



250	$Y = -1,056x + 4,986$	1,056
100	$Y = -1,087x + 5,234$	1,087
50	$Y = -1,132x + 5,453$	1,132

Ao realizar-se uma análise do conjunto de Df calculados, para a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira como um todo, tem-se a média de Df=1,081 e um desvio da média de 0,032 e uma diferença de até 4,5% em relação à média.

Para as sub-bacias também se realizaram análises com os diferentes números de células como mostram os resultados na figura 39:

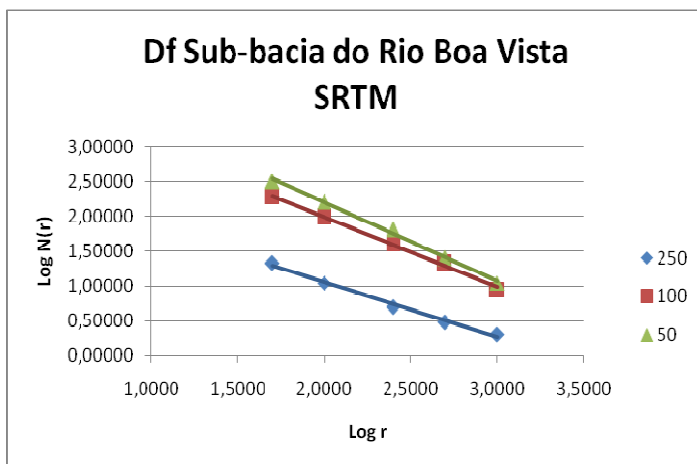


Figura 39: Df da sub-bacia Boa Vista com as diferentes redes de drenagem SRTM

Fonte: da autora

As retas da figura 39 possuem as equações mostradas na tabela 09:

TABELA 09: Df DA SUB-BACIA BOA VISTA PARA AS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM

Fonte: da autora

Sub-bacia Boa Vista	n. células	Equações	Df
	500	Não tem	não tem



250	$Y = -0,791x + 2,635$	0,791
100	$Y = -1,003x + 3,997$	1,003
50	$Y = -1,125x + 4,445$	1,125

Para a Sub-bacia do Rio Boa Vista a extração da rede de drenagem com um conjunto de 500 células não apresentou resultado. Não há delineamento de rede de drenagem para a área em questão. O valor encontrado para 250 células não satisfaz a condição de fractal da rede de drenagem como elemento natural, o valor deveria ser igual ou maior a 1,00. Para Christofolletti & Christofolletti (1994) os valores da dimensão fractal deve ser:  $1 \leq Df < 2$  para as estruturas espaciais de lineamentos, no caso curvas irregulares, como as tortuosidades e as sinuosidades das linhas costeiras e os meandros dos cursos fluviais.

Para a sub-bacia do Bucareim obteve-se as retas da figura 40:

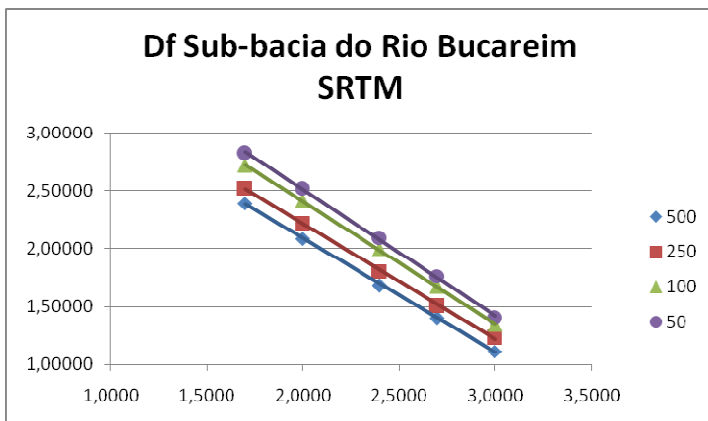


Figura 40: Df da sub-bacia Bucareim com as diferentes redes de drenagem SRTM

Fonte: da autora

Para as retas da figura 40 tem-se as equações que seguem:

TABELA 10: Df DA SUB-BACIA BUCAREIM PARA AS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM

Fonte: da autora



Sub-bacia Bucareim	n. células	equação	Df
	500	$Y = -0,984x + 4,055$	0,984
	250	$Y = -0,993x + 4,198$	0,993
	100	$Y = -1,055x + 4,516$	1,055
	50	$Y = -1,087x + 4,683$	1,087

Para a sub-bacia de Rio Bucareim, assim como para a sub-bacia do Rio Boa Vista, utilizando um conjunto de 500 e 250 células se verifica a condição de fractal que se deve observar no elemento natural, como a rede de drenagem. Somente um conjunto de 100 e 50 células mostra um valor de Df maior ou igual a 1,000.

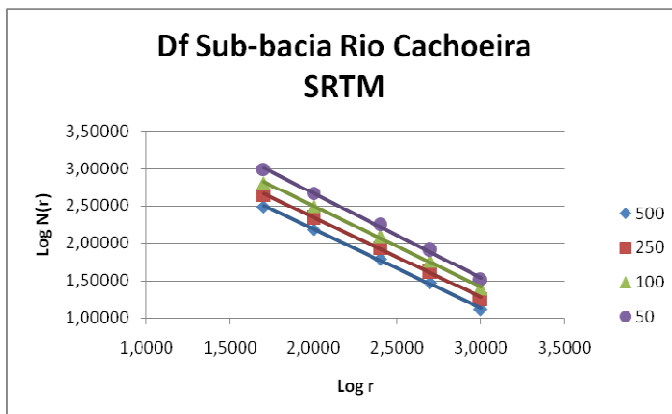


Figura 41: Df da sub-bacia Cachoeira com as diferentes redes de drenagem SRTM

Fonte: da autora

As equações para as retas da figura 41 encontram-se na tabela abaixo:

TABELA 11: Df DA SUB-BACIA CACHOEIRA PARA AS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM

Fonte: da autora

Sub-bacia Cachoeira	n. células	equação	Df
	500	$Y = -1,045x + 4,277$	1,045



250	$Y = -1,062x + 4,465$	1,062
100	$Y = -1,075x + 4,648$	1,075
50	$Y = -1,127x + 4,925$	1,127

No caso da sub-bacia do Rio Cachoeira todos os conjuntos de células fornecem valores aceitáveis de Df.

Para a sub-bacia do Itaum os resultados são os que seguem na figura 42 e tabela 12:

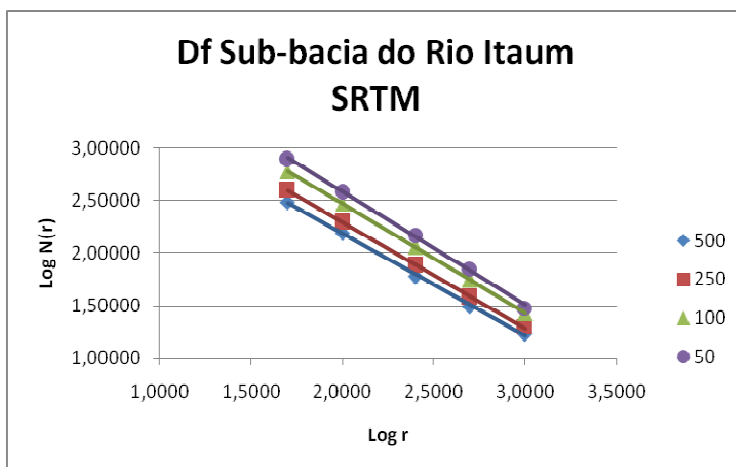


Figura 42: Df da sub-bacia Itaum com as diferentes redes de drenagem SRTM

Fonte: da autora

As equações para as retas da figura 42 encontram-se na tabela abaixo:

TABELA 12: Df DA SUB-BACIA ITAUM PARA AS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM

Fonte: da autora

Sub-bacia Itaum	n. células	equação	Df
	500	$Y = -0,971x + 4,127$	0,971
	250	$Y = -1,001x + 4,293$	1,001



100	$Y = -1,033x + 4,533$	1,033
50	$Y = -1,075x + 4,73$	1,075

Os valores de Df encontrados para a sub-bacia do Rio Itaum mostram que o conjunto de 500 células não fornece uma rede de drenagem com valor de Df aceitável.

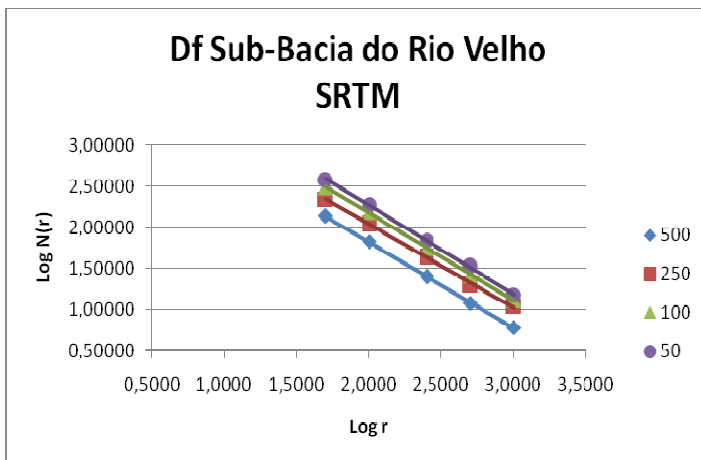


Figura 43: Df da sub-bacia Velho com as diferentes redes de drenagem SRTM

Fonte: da autora

As equações para as retas mostradas na figura 43 encontram-se na tabela 13:

TABELA 13: Df DA SUB-BACIA VELHO PARA AS DIFERENTES REDES DE DRENAGEM SRTM

Fonte: da autora

Sub-bacia Velho	n. células	equação	Df
	500	$Y = -1,048x + 3,915$	1,048
	250	$Y = -1,011x + 4,058$	1,011
	100	$Y = -1,063x + 4,298$	1,063
	50	$Y = -1,078x + 4,422$	1,078



Na sub-bacia do Rio Velho todos os valores utilizados para o conjunto de células a extrair a rede de drenagem possuem valor maior que 1,000 sendo, portanto, satisfatórios.

Em função da inconsistência de valores de Df obtidos para 500 e 250 células, somente as redes de drenagem obtidas com 100 e 50 células são utilizadas para análise da Df nesta pesquisa. Isto vai ao encontro do proposto por Taborton (1991) que afirma ser necessário relacionar-se a quantidade de células utilizadas para a extração da rede de drenagem com a área da bacia hidrográfica. A BHRC possui uma área de aproximadamente 125,42 km<sup>2</sup> enquanto o pixel do dado SRTM possui uma área de 8.100 m<sup>2</sup>, tem-se assim, um total de aproximadamente 15483,95 pixel para recobrir a área da BHRC e, como cada pixel possui 90x90 metros, necessita-se de ao menos um grupo de 172 células para se definir uma rede de drenagem proporcional à esta bacia hidrográfica. Por isso, somente os valores relativos a 100 e 50 células satisfizeram a condição de fractalidade do elemento uma vez que com 500 e 250 células não se obteve uma rede de drenagem condizente com a realidade da área estudada.

O quadro abaixo é um resumo dos valores de Df encontrados para os conjuntos de 100 e 50 células, os quais satisfizeram a condição de fractalidade da BHRC e Sub-bacias.

**TABELA 14: Df UTILIZADAS NA PESQUISA PARA AS SUB-BAICAS OBTIDA COM OS DADOS SRTM**

Fonte: da autora

Sub-bacia	Df	
	100	50
Rio Boa Vista	1,003	1,125
Rio Bucareim	1,055	1,087
Rio Cachoeira	1,075	1,127
Rio Itaum	1,033	1,075
Rio Velho	1,063	1,078

## 4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS PLANIMÉTRICOS



Para se chegar à análise do padrão fractal da rede de drenagem analisada é necessário se comparar os resultados obtidos. Primeiramente serão comparados os dados da BHRC e posteriormente para as sub-bacias.

O método de análise se baseia no cálculo da média e desvio da média dos valores de Df encontrados. No entanto, para se expandir as análises são utilizados valores de referência diferenciados com os quais os demais valores de Df serão comparados como demonstrado na metodologia desta pesquisa.

#### 4.2.1 Análise com referência na média dos valores obtidos

A tabela 15 mostra um resumo do valores obtidos para a BHRC e sub-bacias e o valor médio de cada uma delas.

TABELA 15: QUADRO RESUMO DA DF OBTIDOS COM O MÉTODO MANUAL

Fonte: da autora

Bacia Hidrográfica	Base Cart. 1978	Base Cart. 2007	Laser		SRTM		média
			10 000	5 000	100	50	
BHRC	1,167	1,282	1,132	1,242	1,087	1,132	1,1737
Rio Boa Vista	1,108	1,275	1,068	1,174	1,003	1,125	1,1255
Rio Bucareim	1,189	1,135	1,134	1,201	1,055	1,087	1,1335
Rio Cachoeira	1,159	1,095	1,136	1,095	1,075	1,127	1,1145
Rio Itaum	1,129	1,268	1,087	1,268	1,033	1,075	1,1433
Rio Velho	1,052	1,384	Não tem		1,063	1,078	1,1443

A tabela 15 mostra o desvio da média para cada valor obtido.

TABELA 16: QUADRO RESUMO DO DESVIO DA MÉDIA DOS VALORES DE DF OBTIDOS COM O MÉTODO MANUAL

Fonte: da autora

Bacia Hidrográfica	desvio da média					
	base 1978	base 2007	laser 10	laser 5	srtm 100	srtm 50
BHRC	0,0067	-0,1083	0,0417	-0,0683	0,0867	0,0417



Rio Boa Vista	0,0175	-0,1495	0,0575	-0,0485	0,1225	0,0005
Rio Bucareim	-0,0555	-0,0015	-0,0005	-0,0675	0,0785	0,0465
Rio Cachoeira	-0,0445	0,0195	-0,0215	0,0195	0,0395	-0,0125
Rio Itaum	0,0143	-0,1247	0,0563	-0,1247	0,1103	0,0683
Rio Velho	0,0922	-0,2398	não tem		0,0813	0,0662

O desvio máximo da média para a BHRC foi obtido para a Base Cartográfica de 2007 com diferença de 0,1083 (9,23%) enquanto o menor desvio da média ficou para a base de 1978 com uma diferença de 0,0067 (0,57%).

Para 3 das 5 SUB-bacias hidrográficas analisadas o maior desvio da média ficou para os dados extraídos da base cartográfica de 2007 sendo que para a sub-bacia do Itaum este valor se iguala ao laser 5.000 (tabelas 16 e 17). E para três das seis bacias analisadas o menor desvio da média ficou para os dados obtidos com o SRTM 50 (Boa Vista, Cachoeira e Velho).

TABELA 17: QUADRO RESUMO DO DESVIO DA MÉDIA EM % DOS VALORES DE DF OBTIDOS COM O MÉTODO MANUAL

Fonte: da autora

Bacia Hidrográfica	desvio % da média					
	base 1978	base 2007	laser 10	laser 5	srtm 100	srtm 50
BHRC	0,5680	-9,2303	3,5501	-5,8222	7,3843	3,5501
Rio Boa Vista	1,5549	-13,2830	5,1088	-4,3092	10,8841	0,0444
Rio Bucareim	-4,8963	-0,1323	-0,0441	-5,9550	6,9255	4,1023
Rio Cachoeira	-3,9928	1,7497	-1,9291	1,7497	3,5442	-1,1216
Rio Itaum	1,2536	-10,9038	4,9271	-10,9038	9,6501	5,9767
Rio Velho	8,0620	-20,9526	não tem		7,1007	5,7898

Uma análise mais detalhada das diferenças entre valores é mostrada nos subitens a seguir. Em cada um deles se analisa os valores tomando-se como base de referência um dos dados listados na tabela acima.



#### 4.2.2 Análise com referência na cartografia de 1978

Utilizando-se os cálculos de dimensão fractal, obtidos a partir da base cartográfica de 1978 na escala 1:50 000, como referência, temos a análise que segue para as bacias hidrográficas em estudo:

TABELA 18: DESVIO DA MÉDIA DOS VALORES DE Df OBTIDOS EM RELAÇÃO À BASE DE 1978

Fonte: da autora

##### BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA

Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
Base cartográfica IBGE 1978	1,167		
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,132	0,035	2,999
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,242	-0,075	-6,427
SRTM 100	1,087	0,080	6,855
SRTM 50	1,132	0,035	2,999
Base cartográfica 2007	1,282	-0,115	-9,854

Comparando-se os valores obtidos para a BHRC apresentada na tabela 18 verifica-se uma diferença percentual maior da base cartográfica de 2007 em relação à base cartográfica de 1978. Esta diferença é de aproximadamente 10%.

Já o valor da Df do Laser Scanning 10.000 se iguala ao obtido com o SRTM 50, mesmo os dados sendo provenientes de sensores com características bem distintas e datas de obtenção dos dados também distintas, mostrando a característica fractal de auto-similaridade.

No valor da Df obtida na base cartográfica de 2007 se diferencia do valor encontrado para o Laser Scanning (5.000) em 3% um valor relativamente baixo. Confirmando novamente a característica dos fractais de auto-similaridade. Este fato também enfatiza que ocorrem diferenças de valores em função dos diferentes produtos cartográficos utilizados.

Para as sub-bacias da BHRC tem-se os valores mostrados na tabela 19:



TABELA 19: DIFERENÇA DOS VALORES DE DF DAS SUB-BACIAS OBTIDOS EM  
RELAÇÃO Á BASE DE 1978

Fonte: da autora



SUB BACIA RIO BOA VISTA	<b>Fonte</b>	<b>Df</b>	<b>Δ Df</b>	<b>%</b>
	Base cartográfica IBGE 1978	1,052		
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,068	-0,016	-1,502
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,174	-0,122	-11,576
	SRTM 100	1,003	0,049	4,676
	SRTM 50	1,125	-0,073	-6,919
	Base cartográfica 2007	1,275	-0,223	-21,175
SUB BACIA RIO BUCAREIM	<b>Fonte</b>	<b>Df</b>	<b>Δ Df</b>	<b>%</b>
	Base cartográfica IBGE 1978	1,159		
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,134	0,025	2,115
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,201	-0,043	-3,669
	Base cartográfica 2007	1,135	0,023	2,028
	SRTM 100	1,055	0,104	8,934
	SRTM 50	1,087	0,071	6,172
SUB BACIA RIO CACHOEIRA	<b>Fonte</b>	<b>Df</b>	<b>Δ Df</b>	<b>%</b>
	Base cartográfica IBGE 1978	1,129		
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,136	-0,007	-0,611
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,095	0,034	3,02
	SRTM 100	1,075	0,054	4,791
	SRTM 50	1,127	0,002	0,186
	Base cartográfica 2007	1,095	0,034	3,02
SUB BACIA RIO ITAUM	<b>Fonte</b>	<b>Df</b>	<b>Δ Df</b>	<b>%</b>
	Base cartográfica IBGE 1978	1,188		
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,087	0,101	8,509
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,268	-0,08	-6,725
	SRTM 100	1,033	0,155	13,054
	SRTM 50	1,075	0,113	9,519
	Base cartográfica 2007	1,268	-0,08	-6,725
SUB BACIA RIO VELHO	<b>Fonte</b>	<b>Df</b>	<b>Δ Df</b>	<b>%</b>
	Base cartográfica IBGE 1978	1,108		
	Laser Scanning 2007 - 10 000	não tem	não tem	não tem
	Laser Scanning 2007 - 5 000	não tem	não tem	não tem
	Base cartográfica 2007	1,384	-0,276	-24,944
	SRTM 100	1,063	0,045	4,035
	SRTM 50	1,078	0,03	2,681

Baseando-se nos valores de Df da base cartográfica de 1978 apresentados na tabela 19 verifica-se que para 3 das sub-bacias a maior diferença em relação ao valor referência ocorreu para os dados SRTM 100. Para



as outras 2 sub-bacias a maior diferença ocorreu para a base de 2007. Já as menores diferenças ocorreram variando o tipo de produto utilizado para sua obtenção: SRTM, laserscanning e base de 2007). As maiores variações ocorreram para as sub-bacias do Velho, Boa Vista e Itaum, as quais se localizam em áreas densamente povoadas da BHRC como pode ser observado na imagem quickbird apresentada anteriormente neste trabalho. Para a sub-bacia Cachoeira, os valores mais discrepantes, tanto acima quanto abaixo da referência ocorreram para os dados SRTM 100 e SRTM 50 respectivamente.

#### *4.2.3 Análise com referencia nos dados laserscanning 2007*

Para se realizar uma análise da Df obtida com os dados laser scanning faz-se necessário avaliar os resultados para dois grupos de células (10000 e 5000) utilizados na extração da rede de drenagem.

No caso deste produto uma análise com 10.000 células significa dizer que a área utilizada no modelo matemático para extrair a informação é a composta por 10.000 pixels. Como o pixel do MDT gerado para o laser possui 4 m<sup>2</sup>, isto significa dizer que a área de drenagem de 10.000 pixel possui 4 hectares ou 40.000 m<sup>2</sup> e, a de 5000 pixel possui então 20 hectares ou 20.000 m<sup>2</sup>.

As análises ocorrem então para cada uma das redes de drenagem em separado lembrando-se que a sub-bacia do Velho não possui dados laser scanning. Tendo-se os dados do laser 10.000 como base para análise os valores obtidos são os apresentados na tabela 20:

TABELA 20: DIFERENÇA DA DF DA BHRC EM RELAÇÃO AO LASER 10.000

Fonte: da autora



## BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA – 10.000

<b>Fonte</b>	<b>Dimensão Fractal</b>	<b><math>\Delta Df</math></b>	<b>%</b>
Base cartográfica IBGE 1978	1,167	-0,035	-3,092
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,132	0,000	0,000
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,242	-0,110	-9,717
SRTM 100	1,087	0,045	3,975
SRTM 50	1,132	0,000	0,000
Base cartográfica 2007	1,282	-0,150	-13,251

A maior diferença de valores foi obtida para a base cartográfica de 2007 seguida do laser 5.000 mostrando que pode ocorrer uma diferença de aproximadamente 9,72% em função da diferença da rede de drenagem gerada com MDT.

Já os dados obtidos com o sensor SRTM num grupo de 50 células apresenta-se numericamente igual ao laser 10.000 para esta bacia mostrando a característica da auto-similaridade existente em diferentes escalas de análise.

Para que se consiga obter uma análise mais complexa da  $Df$  dos cursos d'água obtidos no mapeamento por laser scanning analisam-se abaixo os dados obtidos para um grupo de 10.000 pixels na geração da rede de drenagem das sub-bacias em análise (tabela 21).

TABELA 21: DIFERENÇA DA  $Df$  DAS SUB-BACIAS EM RELAÇÃO AO LASER 10.000



Fonte: da autora

SUB BACIA RIO BOA VISTA	Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
	Base cartográfica IBGE 1978	1,052	0,016	1,479
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,068	0,000	0,000
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,174	-0,106	-9,925
	SRTM 100	1,003	0,065	6,086
	SRTM 50	1,125	-0,057	-5,337
	Base cartográfica 2007	1,275	-0,207	-19,382
SUB BACIA RIO BUCAREIM	Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
	Base cartográfica IBGE 1978	1,159	-0,025	-2,16
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,134	0,000	0,000
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,201	-0,067	-5,908
	Base cartográfica 2007	1,055	0,079	6,966
	SRTM 100	1,087	0,047	4,145
	SRTM 50	1,135	-0,001	-0,088
SUB BACIA RIO CACHOEIRA	Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
	Base cartográfica IBGE 1978	1,129	0,007	0,607
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,136	0,000	0,000
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,095	0,041	3,609
	SRTM 100	1,075	0,061	5,37
	SRTM 50	1,127	0,009	0,792
	Base cartográfica 2007	1,095	0,041	3,609
SUB BACIA RIO ITAUM	Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
	Base cartográfica IBGE 1978	1,188	-0,101	-9,301
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,087	0,000	0,000
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,268	-0,181	-16,651
	SRTM 100	1,033	0,054	4,968
	SRTM 50	1,075	0,012	1,104
	Base cartográfica 2007	1,268	-0,181	-16,651

Diferentemente do ocorrido em relação à BHRC o valor obtido com o Laser 10.000 não se igualou ao SRTM 50 para as sub-bacias.

Para a sub-bacia do Boa Vista o valor de Df que mais se aproximou foi a da Base Cartográfica de 1978 (1,78%) e a maior diferença para a da Base Cartográfica de 2007 (19,38%).

Na sub-bacia do Bucareim a menor diferença, ao contrário do ocorrido na sub-bacia do Rio Boa Vista e da Bacia Hidrográfica como um todo, é referente



à Base Cartográfica de 2007, enquanto a maior diferença ocorreu para o SRTM 100. O mesmo ocorreu ao se tomar como referência a base de 1978.

Para a sub-bacia do Rio Cachoeira a Base de 1978 possui o mesmo valor de Df que mais se aproxima do Laser 10.000. O SRTM100 apresentou a maior diferença em relação ao valor referência da mesma forma como ocorrido ao se utilizar a base de 1978 como referência.

Igualmente à sub-bacia do Rio Cachoeira, para a sub-bacia do Itaum, o valor de Df do SRTM 50 se aproximou do valor do Laser 10.000, no entanto a Base de 2007 e o laser 5.000 foram os que mais se diferenciaram.

Correlacionando-se o grupo de 5.000 células e utilizando-o como base, o resultado obtido é:

TABELA 22: DIFERENÇA DA DF DA BHRC EM RELAÇÃO AO LASER 5.000

Fonte: da autora

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA – 5.000			
Fonte	Dimensão Fractal	Δ Df	%
Base cartográfica IBGE 1978	1,167	0,075	6,039
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,132	0,110	8,857
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,242	0,000	0,000
SRTM 100	1,087	0,155	12,480
SRTM 50	1,132	0,110	8,857
Base cartográfica 2007	1,282	-0,040	-3,221

Neste caso a maior diferença foi encontrada foi com os dados do SRTM 100 e em segundo, com valores iguais, o SRTM 50 e laser scanning 10.000. A menor diferença ficou na base cartográfica de 2007.

A tabela 23 mostra os valores obtidos para os dados do laser obtidos de uma rede de drenagem extraída de um grupo de 5.000 pixels.

TABELA 23: DIFERENÇA DA DF DAS SUB-BACIAS EM RELAÇÃO AO LASER 5.000



Fonte: da autora

SUB BACIA RIO BOA VISTA	Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
	Base cartográfica IBGE 1978	1,052	0,122	10,375
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,068	0,106	9,029
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,174	0,000	0,000
	SRTM 100	1,003	0,171	14,566
	SRTM 50	1,125	0,049	4,174
	Base cartográfica 2007	1,275	-0,101	-8,603
	Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
SUB BACIA RIO BUCAREIM	Base cartográfica IBGE 1978	1,159	0,043	3,539
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,134	0,067	5,579
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,201	0,000	0,000
	Base cartográfica 2007	1,135	0,066	5,495
	SRTM 100	1,055	0,146	12,157
	SRTM 50	1,087	0,114	9,492
SUB BACIA RIO CACHOEIRA	Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
	Base cartográfica IBGE 1978	1,129	-0,034	-3,114
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,136	-0,041	-3,744
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,095	0,000	0,000
	SRTM 100	1,075	0,02	1,826
	SRTM 50	1,127	-0,032	-2,922
	Base cartográfica 2007	1,095	0,000	0,000
SUB BACIA RIO ITAUM	Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
	Base cartográfica IBGE 1978	1,188	0,080	6,301
	Laser Scanning 2007 - 10 000	1,087	0,181	14,274
	Laser Scanning 2007 - 5 000	1,268	0,000	0,000
	SRTM 100	1,033	0,235	18,533
	SRTM 50	1,075	0,193	15,221
	Base cartográfica 2007	1,268	0,000	0,000

Na sub-bacia do Boa Vista os valores de Df SRTM apresentaram ao mesmo tempo as maiores e menores diferenças.

Como ocorrido para a sub-bacia Boa Vista, para a sub-bacia Bucareim, o SRTM100 apresentou a maior diferença em relação ao laser 5.000. Já a base de 1978 foi a que mais se aproximou.

De um modo geral as diferenças para a sub-bacia do Cachoeira foram menores do que as outras sub-bacias. Os valores obtidos para a Base Cartográfica de 1978 e o Laser 10.000 mostra diferenças maiores, no entanto, a base 2007 se iguala em valor à Df obtida com o laser 5.000.



Na sub-bacia do Itaum a base cartográfica de 2007 se igualou ao laser 5.000. Como na sub-bacia do cachoeira enquanto o valor do SRTM 100 é o mais discrepante seguido do SRTM 50.

#### 4.2.4 *Análise com referência nos dados de datas próximas*

As tabelas deste sub-item contém os valores de dimensão fractal somente dos dados obtidos por sensoriamento remoto em 2007 (base cartográfica e laser scanning) e os dados SRTM obtidos em 2000, eliminando-se, portanto, a base cartográfica 1978. O objetivo da análise é verificar a diferença de valores obtidos para os sensores cujos produtos são de datas próximas de modo a se verificar a haver diferença de valores de Df em função de alterações ocorridas na rede de drenagem neste período através do cálculo da média e desvio da média ( $\Delta Df$ ).

A BHRC analisada com os dados de datas mais próximas fornece como valores de Df a tabela 24:

TABELA 24: MÉDIA DA DF DA BHRC DE DATAS PRÓXIMAS

Fonte: da autora

#### BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA

Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,132	0,043	3,660
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,242	-0,067	-5,702
Base cartográfica 2007	1,282	-0,107	-9,106
SRTM 50	1,132	0,043	3,660
SRTM 100	1,087	0,088	7,489
média	1,175		

A tabela 24 mostra a média de valores encontrados da dimensão fractal para a BHRC é de 1,175. O resultado obtido com a base cartográfica de 2007 é o



que mais se desviou da média. Enquanto que os valores encontrados com Laser Scanning e o SRTM 50 são iguais.

Os valores médios e suas análises para as sub-bacias nas datas próximas seguem apresentados na tabela 25:

TABELA 25: MÉDIA DA DF DA SUB-BACIA BOA VISTA DE DATAS PRÓXIMAS

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA VISTA			
Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,068	0,061	5,403
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,174	-0,045	-3,986
Base cartográfica 2007	1,275	-0,146	-12,932
SRTM 100	1,003	0,126	11,160
SRTM 50	1,125	0,004	0,354
média	1,129		

Na sub-bacia do Rio Boa Vista tem-se um desvio da média maior para a base cartográfica de 2007 seguida dos dados SRTM 100 e o menor para SRTM 50. Se eliminarmos estes valores mais discrepantes teremos um desvio da média maior para ambos os dados do laser scanning com 4,60%.

TABELA 26: MÉDIA DA DF DA SUB-BACIA BUCAREIM DE DATAS PRÓXIMAS

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BUCAREIM			
Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,134	-0,012	-1,033
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,201	-0,079	-7,003
Base cartográfica 2007	1,135	-0,013	-1,123
SRTM 100	1,055	0,067	6,005
SRTM 50	1,087	0,035	3,154
média	1,122		



No caso da sub-bacia do Bucareim tem-se os dados do laser scanning 5000 e o SRTM 100 como os mais distantes da média enquanto o laser scanning 10.000 é o menos discrepantes.

TABELA 27: MÉDIA DA DF DA SUB-BACIA CACHOEIRA DE DATAS PRÓXIMAS

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA			
Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,136	-0,030	-2,750
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,095	0,011	0,959
Base cartográfica 2007	1,095	0,011	0,959
SRTM 100	1,075	0,031	2,768
SRTM 50	1,127	-0,021	-1,936
média	1,106		

A tabela 27 mostra que os valores do laser 5.000 e da base cartográfica de 2007 são iguais para a sub-bacia do Rio Cachoeira e observa-se uma diferença maior para o dado SRTM 100. Eliminando-se os valores que mais se afastam da média teremos 1,93% de desvio da média para o SRTM 50.

TABELA 28: MÉDIA DA DF DA SUB-BACIA ITAUM DE DATAS PRÓXIMAS

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAUM			
Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,087	0,059	5,165
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,268	-0,122	-10,626
Base cartográfica 2007	1,268	-0,122	-10,626
SRTM 100	1,033	0,113	9,876
SRTM 50	1,075	0,071	6,212
média	1,146		



Os valores apresentados para a sub-bacia do Itaum na tabela 28 mostra os valores de Df do laser 5.000 e da base cartográfica de 2007 se igualam. Na média, no entanto, eles são os mais distantes. Ao eliminar estes dois valores tem-se uma diferença da média máxima de 3,00% para o SRTM 100.

TABELA 29: MÉDIA DA DF DA SUB-BACIA DO RIO VELHO DE DATAS PRÓXIMAS

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VELHO			
Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta$ Df	%
Base cartográfica 2007	1,384	-0,209	-17,787
SRTM 100	1,063	0,112	9,532
SRTM 50	1,078	0,097	8,255
média	1,175		

O relevo da sub-bacia do Rio Velho é praticamente desprovida de altimetria diferente do nível do mar sendo, portanto, difícil de analisar. Os canais fluviais não apresentam boas características morfométricas sendo que, os dados obtidos com o sensor laser scanning não abrangem esta área.

Dentre os dados obtidos também se percebe uma diferença muito grande entre os valores de dimensão fractal encontrados na tabela 29 comprometendo a análise desta sub-bacia do Rio Cachoeira.

Em resumo, a média dos valores de Df obtidos pelo método manual apresentam-se no quadro abaixo:

TABELA 30: COMPARAÇÃO Df dados planimétricos GERADA POR REDES DE DRENAGEM EXTRAÍDAS DE MDT E BASE CARTOGRÁFICA

Fonte: da autora

Rede drenagem planimétrica	Média MDT	Média base cart.	Diferença MDT - base
HRC	1,148	1,225	-0,076
Rio Boa Vista	1,093	1,192	-0,099
Rio Bucareim	1,119	1,162	-0,043
Rio Cachoeira	1,108	1,127	-0,019
Rio Itaum	1,116	1,199	-0,083



Analisando-se a tabela 30 verifica-se que a maior diferença entre os valores médios ocorreu para a Sub-bacia do Boa Vista com 8,62% e a menor para o a sub-bacia do Rio Cachoeira com 1,63%.

#### 4.2.5 *Relação dos Valores de Dimensão Fractal de dados planimétricos e a Densidade de Drenagem*

Em função dos diferentes valores obtidos para Df optou-se ainda por comparar os valores de Df obtidos com as densidades de drenagem da BHRC e sub-bacias baseando-se na área determinada com a base cartográfica de 1978. Seguem organizados na tabela 31 os valores de Dd e Df obtidos para a BHRC e sub-bacias.

TABELA 31: Df MANUAL VERSUS Dd DA BHRC E SUB-BACIAS

Fonte: da autora

	Sensor / Produto	Área (Km2)	Comp. canais(Km)	Dd	Df
<b>Bacia do Rio Cachoeira</b>	SRTM 100	125,424	127,119	1,014	1,087
	Laser 10.000		92,231	0,735	1,132
	SRTM 50		105,980	0,845	1,132
	Laser 5.000		180,395	1,438	1,167
	Base 1978		159,705	1,273	1,242
	Base 2007		373,193	2,975	1,282
<b>Sub-Bacia do Rio Cachoeira</b>	SRTM 100	34,984	25,938	0,741	1,075
	Laser 5.000		46,801	1,338	1,095
	Base 2007		70,192	2,006	1,095
	SRTM 50		38,957	1,114	1,127
	Base 1978		44,879	1,283	1,129
	Laser 10.000		30,762	0,879	1,136
<b>Sub-Bacia do Rio Itaum</b>	SRTM 100	28,741	23,956	0,834	1,033
	SRTM 50		31,331	1,090	1,075
	Laser 10.000		29,578	1,029	1,087
	Base 1978		55,181	1,920	1,188
	Laser 5.000		45,041	1,567	1,268
	Base 2007		89,861	3,127	1,268



<b>Sub-Bacia do Rio Velho</b>	SRTM 100	29,619	12,310	0,416	1,063
	SRTM 50		15,138	0,511	1,078
	Base 1978		31,979	1,080	1,108
	Base 2007		112,178	3,787	1,384
<b>Sub-Bacia do Rio Bucareim</b>	SRTM 100	21,899	21,257	0,971	1,055
	SRTM 50		27,444	1,253	1,087
	Laser 10.000		33,032	1,508	1,134
	Base 2007		54,694	2,498	1,135
	Base 1978		31,891	1,456	1,159
	Laser 5.000		47,444	2,167	1,201
<b>Sub-Bacia do Rio Boa Vista</b>	SRTM 100	10,199	8,770	0,860	1,003
	Base 1978		15,423	1,512	1,052
	Laser 10.000		12,631	1,238	1,068
	SRTM 50		14,249	1,397	1,125
	Laser 5.000		19,997	1,961	1,174
	Base 2007		46,527	4,562	1,275

Analisando-se os valores da tabela 31 observou-se que não necessariamente a bacia ou sub-bacia com maior densidade de drenagem possui a maior Df. Para a BHRC e sub-bacias a base de 2007 fornece valores de maior densidade de drenagem não fornecendo, no entanto, os maiores valores de Df para todos os casos analisados o que mostra haver uma forte relação entre o elemento rede de drenagem e o espaço geográfico que o contém.



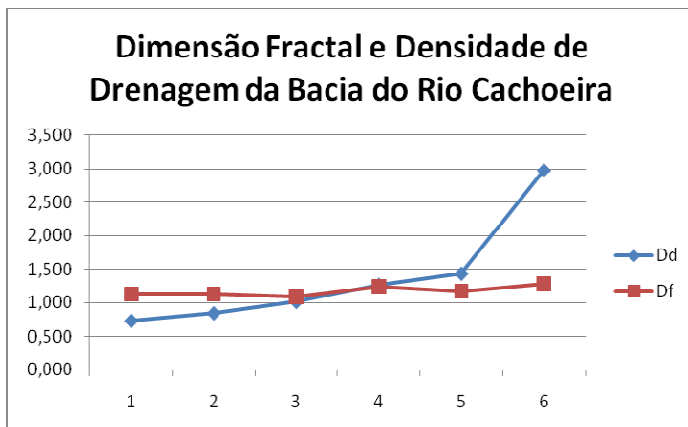


Figura 44: Dimensão fractal versus densidade de drenagem da BHRC

Fonte: da autora

No gráfico da figura 44 a linha Dd indica a diferença da densidade de drenagem e os valores Df a dimensão fractal. Os valores de densidade de drenagem (razão entre o comprimento dos rios e área da bacia hidrográfica) não são diretamente proporcionais ao comprimento dos rios e, estes valores variam bastante. Em se tomando como base de comparação os menores valores (obtidos pelos dados SRTM 100) temos uma diferença de comprimento total dos rios de 305% para a bacia do Rio Cachoeira com os dados da Base Cartográfica de 2007 e, para a sub-bacia do Rio Boa Vista uma diferença de 431%.



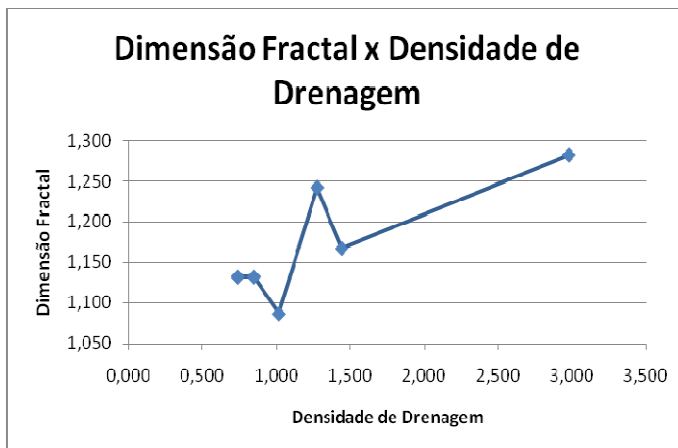


Figura 45: Diferença da dimensão fractal e da densidade de drenagem da BHRC

Fonte: da autora

Não foi encontrada uma relação diretamente proporcional entre a diferença da densidade de drenagem e os valores de dimensão fractal. O que enfatiza o fato de que a geometria do objeto analisado está intimamente correlacionada à dimensão fractal e esta à forma de inserção do elemento na superfície.

#### 4.3 DIMENSÃO FRACTAL OBTIDA COM O MÉTODO AUTOMATIZADO— DADOS PLANIALTIMÉTRICOS

O método automatizado consiste na inclusão de arquivos no formato shape no banco de dados Quantum GIS através de um prompt do DOS utilizando a linha de comando que segue abaixo como exemplo alterando-se o nome do arquivo:

```
C:\doutorado\joinville\3D\shp2pgsql -S rios_cachoeira.shp
public.rios_cachoeira | psql -U fernanda -d fernanda
```



No banco de dados as redes de drenagem devem ser inseridas com a informação altimétrica. Enquanto os arquivos shape referentes aos limites das bacias hidrográficas podem estar somente com a informação planimétrica.

Depois disto, utiliza-se o programa “Bacia Fractal” e verifica-se o valor de dimensão fractal obtido.

De modo a se obter valores ‘padrão’ de dimensão fractal, optou-se por utilizar a dimensão inicial dos cubos como sendo 1000 metros e o valor final como sendo 50 metros, ou seja, os mesmos valores utilizados no método manual de cálculo da Df.

#### *4.3.1 Testes preliminares*

No intuito de aprofundar as análises realizaram-se testes variando-se o tamanho dos grids e verificando os valores obtidos de dimensão fractal. O teste teve por objetivo observar três pontos importantes: quantificar as diferenças de Df, determinar a influência desta variação da Df e verificar o número de pontos necessários para gerar a melhor reta de onde se obtém o coeficiente angular. Variando-se o tamanho inicial do grid e o intervalo, os valores de Df que variaram de 1,0510 a 1,3772. A média dos valores ficou em 1,2195 e o maior desvio da média ficou em 13,82% e o menor em 1,07%, com uma diferença de  $\pm 0,168$ . Eliminando-se os três maiores valores e os dois menores obtém-se uma média de valores de Df igual a 1,2011 com o maior desvio da média de 7,26% e o menor de 0,61%, com uma diferença de  $\pm 0,087$ . A tabela 32 mostra alguns dos valores obtidos:



TABELA 32: DIFERENÇA DA Df PARA A BHRC COM O METODO AUTOMATIZADO

Fonte: da autora

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA				
Cubo maior	Cubo menor	Intervalo	Df	N. Ciclos
1000	50	200	1,3772	5
1000	50	100	1,3160	10
1000	50	50	1,2877	20
1000	50	10	1,2453	96
750	50	200	1,3421	4
750	50	100	1,2751	8
750	50	50	1,2326	15
750	50	10	1,1825	71
500	50	200	1,3222	3
500	50	100	1,1938	5
500	50	50	1,1548	10
500	50	10	1,1139	46
250	50	100	1,1246	3
250	50	50	1,0742	5
250	50	10	1,0510	21

A tabela 32 mostra valores obtidos para a BHRC enquanto as que compõem a tabela 33 descreve os valores obtidos para as sub-bacias.

TABELA 33: DIFERENÇA DA Df PARA AS SUB-BACIAS COM O METODO AUTOMATIZADO

Fonte: da autora



SUB-BACIA DO RIO ITAUM	Cubo maior	Cubo menor	Intervalo	Df	N. Ciclos	média	variacao	em %
	1000	50	200	1,4484	5	1,2316	-0,2908	-25,1181
	1000	50	100	1,3434	10		-0,1858	-16,0478
	1000	50	50	1,3039	20		-0,1463	-12,6356
	1000	50	10	1,2616	96		-0,1040	-8,9816
	750	50	200	1,3935	4		-0,2359	-20,3756
	750	50	100	1,2875	8		-0,1299	-11,2189
	750	50	50	1,2336	15		-0,0760	-6,5629
	750	50	10	1,2009	71		-0,0433	-3,7381
	500	50	200	1,3349	3		-0,1773	-15,3135
	500	50	100	1,1918	5		-0,0342	-2,9520
	500	50	50	1,1552	10		0,0024	0,2096
	500	50	10	1,122	46		0,0356	3,0776
	250	50	100	1,1045	3		0,0531	4,5893
	250	50	50	1,0518	5		0,1058	9,1417
	250	50	10	1,0416	21		0,1160	10,0228
SUB-BACIA DO RIO BUCAREIM	Cubo maior	Cubo menor	Intervalo	Df	N. Ciclos	média	variacao	em %
	1000	50	200	1,3511	5	1,1797	-0,1714	-14,5330
	1000	50	100	1,2758	10		-0,0961	-8,1498
	1000	50	50	1,2432	20		-0,0635	-5,3863
	1000	50	10	1,2102	96		-0,0305	-2,5889
	750	50	200	1,2839	4		-0,1042	-8,8364
	750	50	100	1,2191	8		-0,0394	-3,3433
	750	50	50	1,1763	15		0,0034	0,2848
	750	50	10	1,1418	71		0,0379	3,2094
	500	50	200	1,243	3		-0,0633	-5,3693
	500	50	100	1,1611	5		0,0186	1,5733
	500	50	50	1,1298	10		0,0499	4,2266
	500	50	10	1,082	46		0,0977	8,2787
	250	50	100	1,0984	3		0,0813	6,8884
	250	50	50	1,0575	5		0,1222	10,3555
	250	50	10	1,0217	21		0,1580	13,3903



SUB-BACIA DO RIO BOA VISTA	Cubo maior	Cubo menor	Intervalo	Df	N. Ciclos	média	variacao	em %
	1000	50	200	1,2653	5	1,1442	-0,1211	-10,5877
	1000	50	100	1,2132	10		-0,0690	-6,0341
	1000	50	50	1,1846	20		-0,0404	-3,5345
	1000	50	10	1,1462	96		-0,0020	-0,1783
	750	50	200	1,214	4		-0,0698	-6,1040
	750	50	100	1,1677	8		-0,0235	-2,0574
	750	50	50	1,1347	15		0,0095	0,8268
	750	50	10	1,1043	71		0,0399	3,4838
	500	50	200	1,1851	3		-0,0409	-3,5782
	500	50	100	1,1107	5		0,0335	2,9244
	500	50	50	1,1188	10		0,0254	2,2165
	500	50	10	1,0975	46		0,0467	4,0781
	250	50	100	1,1073	3		0,0369	3,2216
	250	50	50	1,0688	5		0,0754	6,5865
	250	50	10	1,0442	21		0,1000	8,7365
SUB-BACIA DO RIO CACHOEIRA	Cubo maior	Cubo menor	Intervalo	Df	N. Ciclos	média	variacao	em %
	1000	50	200	1,3096	5	1,1576	-0,1520	-13,1280
	1000	50	100	1,2525	10		-0,0949	-8,1955
	1000	50	50	1,2084	20		-0,0508	-4,3860
	1000	50	10	1,1774	96		-0,0198	-1,7081
	750	50	200	1,2621	4		-0,1045	-9,0248
	750	50	100	1,1956	8		-0,0380	-3,2803
	750	50	50	1,1644	15		-0,0068	-0,5851
	750	50	10	1,1249	71		0,0327	2,8270
	500	50	200	1,2383	3		-0,0807	-6,9689
	500	50	100	1,1344	5		0,0232	2,0064
	500	50	50	1,0974	10		0,0602	5,2026
	500	50	10	1,07	46		0,0876	7,5695
	250	50	100	1,0583	3		0,0993	8,5802
	250	50	50	1,0311	5		0,1265	10,9298
	250	50	10	1,04	21		0,1176	10,1610



SUB-BACIA DO RIO VELHO	Cubo maior	Cubo menor	Intervalo	Df	N. Ciclos	média	variacao	em %
	1000	50	200	1,2784	5	1,1678	-0,1208	-10,4328
	1000	50	100	1,2128	10		-0,0552	-4,7661
	1000	50	50	1,2035	20		-0,0459	-3,9627
	1000	50	10	1,1823	96		-0,0247	-2,1314
	750	50	200	1,2625	4		-0,1049	-9,0593
	750	50	100	1,1899	8		-0,0323	-2,7879
	750	50	50	1,1737	15		-0,0161	-1,3885
	750	50	10	1,1476	71		0,0100	0,8661
	500	50	200	1,2083	3		-0,0507	-4,3773
	500	50	100	1,1372	5		0,0204	1,7645
	500	50	50	1,1317	10		0,0259	2,2396
	500	50	10	1,1007	46		0,0569	4,9175
	250	50	100	1,1562	3		0,0014	0,1232
	250	50	50	1,0724	5		0,0852	7,3622
	250	50	10	1,0593	21		0,0983	8,4938

Ainda para a Bacia do Rio Cachoeira como um todo observou-se que a diferença de Df ocorre distribuída num gráfico de dispersão como mostra a figura 46, o que leva à concluir que a diferença do número de ciclos, ou seja, o número de pontos utilizados para gerar a reta e o seu coeficiente angular ocorre predominantemente num intervalo de 3 a 21 pontos. Mostrando, portanto, que não há necessidade de se gerar uma quantidade muito elevada de pontos para melhorar a acurácia do processo.

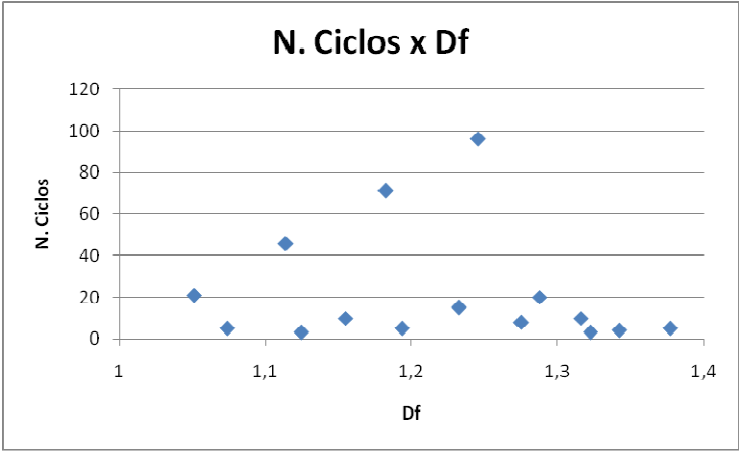


Figura 46: Número de ciclos versus Df  
Fonte: da autora



Na tabela 33 verifica-se que o menor valor de Df médio ficou para a sub-bacia do Rio Boa Vista com 1,1442 e a maior média ficou para a sub-bacia do Rio Itaum com 1,2316. Sendo que a maior diferença da média ocorreu para a sub-bacia do Rio Itaum com aproximadamente 17,60% e um desvio máximo da média da ordem de 0,2168, enquanto que a menor diferença ocorreu para a sub-bacia do Rio Velho diferindo da média em 0,16% e um desvio máximo da média de 0,1106.

Retirando-se de cada sub-bacia os valores mais afastados da média (os dois maiores e os dois menores) de Df e refazendo as análises chegou-se aos seguintes números: o menor valor de Df é para a sub-bacia do Rio Boa Vista com o valor de 1,1427 e a maior para a sub-bacia do Rio Itaum com 1,2308. Sendo que a maior diferença da média ocorreu para a sub-bacia do Rio Itaum com aproximadamente 10,26% e um desvio máximo da média da ordem de 0,1263, enquanto que a menor diferença ocorreu para a sub-bacia do Rio Velho diferindo em 0,30% e um desvio máximo da média de 0,0705.

Dentre as variações observadas utilizando-se a combinação de cubo maior, cubo menor e intervalo igual a 1000, 50 e 200 respectivamente obteve-se a maior diferença em relação à média dos valores para todas as sub-bacias. Já com a combinação 750, 50 e 50 para cubo maior, cubo menor e intervalo respectivamente obteve-se a menor diferença em relação à média para todas as sub-bacias. Por este motivo, estes valores (750, 50 e 50) serão utilizados como base para a determinação da Df da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira e sub-bacias.

#### *4.3.2 Resultados obtidos com o software Bacia Fractal*

A partir dos resultados obtidos da análise os resultados abaixo relatados foram obtidos para um grid cujo maior tamanho é de 750 x 750 metros e o menor de 50 x 50 metros variando em intervalos de 50x50 metros, gerando um gráfico com aproximadamente 15 pontos.

Para a base cartográfica de 1978 obteve-se os seguintes valores de dimensão fractal para a rede de drenagem planialtimétrica:



TABELA 34: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA A BASE  
CARTOGRÁFICA DE 1978

Fonte: da autora

Base Cartográfica de 1978	Nome Bacia / Sub-bacia	Dimensão Fractal
	BHRC	1,2326
	Sub-bacia do Rio Boa Vista	1,1347
	Sub-bacia do Rio Bucareim	1,1763
	Sub-bacia do Rio Cachoeira	1,1644
	Sub-bacia do Rio Itaum	1,2336
	Sub-bacia do Rio Velho	1,1737

TABELA 35: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O SRTM 100

Fonte: da autora

SRTM 100	Nome Bacia / Sub-bacia	Dimensão Fractal
	BHRC	1,0701
	Sub-bacia do Rio Boa Vista	1,0856
	Sub-bacia do Rio Bucareim	1,0720
	Sub-bacia do Rio Cachoeira	1,0788
	Sub-bacia do Rio Itaum	1,0749
	Sub-bacia do Rio Velho	1,0867

TABELA 36: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O SRTM 50

Fonte: da autora

SRTM 50	Nome Bacia / Sub-bacia	Dimensão Fractal
	BHRC	1,1153
	Sub-bacia do Rio Boa Vista	1,2211
	Sub-bacia do Rio Bucareim	1,1179
	Sub-bacia do Rio Cachoeira	1,1006
	Sub-bacia do Rio Itaum	1,0913
	Sub-bacia do Rio Velho	1,1035



TABELA 37: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O LASER 50625

Fonte: da autora

Laser 50 625	Nome Bacia / Sub-bacia	Dimensão Fractal
	BHRC	1,0868
	Sub-bacia do Rio Boa Vista	1,1256
	Sub-bacia do Rio Bucareim	1,0740
	Sub-bacia do Rio Cachoeira	1,0715
	Sub-bacia do Rio Itaum	1,0748

TABELA 38: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O LASER 25312

Fonte: da autora

Laser 25 312	Nome Bacia / Sub-bacia	Dimensão Fractal
	BHRC	1,1173
	Sub-bacia do Rio Boa Vista	1,1278
	Sub-bacia do Rio Bucareim	1,1197
	Sub-bacia do Rio Cachoeira	1,1044
	Sub-bacia do Rio Itaum	1,1094

TABELA 39: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O LASER 10000

Fonte: da autora

Laser 10 000	Nome Bacia / Sub-bacia	Dimensão Fractal
	BHRC	1,1500
	Sub-bacia do Rio Boa Vista	1,1860
	Sub-bacia do Rio Bucareim	1,1602
	Sub-bacia do Rio Cachoeira	1,1404
	Sub-bacia do Rio Itaum	1,0751



TABELA 40: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA O LASER 5000

Fonte: da autora

Laser 5 000	Nome Bacia / Sub-bacia	Dimensão Fractal
	BHRC	1,2925
	Sub-bacia do Rio Boa Vista	1,3254
	Sub-bacia do Rio Bucareim	1,2353
	Sub-bacia do Rio Cachoeira	1,2931
	Sub-bacia do Rio Itaum	1,2124

TABELA 41: Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO PARA A BASE CARTOGRÁFICA 2007

Fonte: da autora

Base Cartográfica 2007	Nome Bacia / Sub-bacia	Dimensão Fractal
	BHRC	1,3376
	Sub-bacia do Rio Boa Vista	1,3884
	Sub-bacia do Rio Bucareim	1,1890
	Sub-bacia do Rio Cachoeira	1,1591
	Sub-bacia do Rio Itaum	1,3697
	Sub-bacia do Rio Velho	1,4233

As análises dos valores apresentados nas tabelas de 34 a 41 estão nos sub-itens que seguem.

#### 4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE DIMENSÃO FRACTAL DOS DADOS PLANIALTIMÉTRICOS

Seguem nos sub-itens do item 4.4 as análises realizadas a partir dos valores obtidos com o software Bacia Fractal.



#### 4.4.1 Análise com referência na média e desvio padrão

Calculando-se a média das Df obtidas para cada uma das bacias hidrográficas (BHRC e sub-bacias) obteve-se os resultados que seguem:

TABELA 42: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA BHRC

Fonte: da autora

##### BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA

Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
Base cartográfica 1978	1,233	-0,057	-4,878
Laser Scanning 2007 - 50625	1,087	0,088	7,528
Laser Scanning 2007 - 25312	1,117	0,058	4,933
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,150	0,025	2,151
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,293	-0,117	-9,974
Base cartográfica 2007	1,338	-0,162	-13,812
SRTM 100	1,070	0,105	8,949
SRTM 50	1,115	0,060	5,103
média	1,175		

Na tabela 42 verifica-se que a base cartográfica de 2007 apresentou a maior diferença em relação à média de Df seguido do Laser Scanning 5000. As menores diferenças ficaram para o Laser Scanning 10000 com Df menor em relação à média seguida da base cartográfica 1978 cuja Df ficou ligeiramente acima da média. Tem-se então um valor de  $1,175 \pm 0,162$  de Df para a BHRC.

Já para as sub-bacias obteve-se os valores que seguem nas tabelas 43 a 47:



TABELA 43: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA SUB-BACIA DO BOA VISTA

Fonte: da autora

## SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA VISTA

Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
Base cartográfica 1978	1,135	0,065	5,388
Laser Scanning 2007 - 50625	1,126	0,074	6,147
Laser Scanning 2007 - 25312	1,128	0,072	5,964
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,186	0,013	1,111
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,325	-0,126	-10,512
Base cartográfica 2007	1,388	-0,189	-15,765
SRTM 100	1,086	0,114	9,482
SRTM 50	1,221	-0,022	-1,816
média	1,199		

Na tabela 43 tem-se a base cartográfica 2007 e o Laser Scanning 5000 como os valores mais discrepantes como o ocorrido para os valores obtidos da BHRC. O SRTM50 e o Laser Scanning 10 000 ficaram como os menos discrepantes. Ao final tem-se a Df igual a  $1,199 \pm 0,189$ .

TABELA 44: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA SUB-BACIA DO BUCAREIM

Fonte: da autora

## SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BUCAREIM

Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
Base cartográfica 1978	1,176	-0,033	-2,909
Laser Scanning 2007 - 50625	1,074	0,069	6,041
Laser Scanning 2007 - 25312	1,120	0,023	2,043
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,160	-0,017	-1,500
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,235	-0,092	-8,071
Base cartográfica 2007	1,189	-0,046	-4,020
SRTM 100	1,072	0,071	6,216
SRTM 50	1,118	0,025	2,200
média	1,143		



Para a sub-bacia do Bucareim as maiores variações se verificam para o Laser Scanning 5000 seguido pelo SRTM 100, como mostra a tabela 44. As menores diferenças se verificaram para o laser scanning 10 000 o SRTM50. Encontrou-se o valor de Df de  $1,143 \pm 0,092$  para esta sub-bacia.

TABELA 45: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA SUB-BACIA DO CACHOEIRA  
Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA

Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta$ Df	%
Base cartográfica 1978	1,164	-0,025	-2,227
Laser Scanning 2007 - 50625	1,072	0,068	5,929
Laser Scanning 2007 - 25312	1,104	0,035	3,041
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,140	-0,001	-0,120
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,293	-0,154	-13,526
Base cartográfica 2007	1,159	-0,020	-1,761
SRTM 100	1,079	0,060	5,288
SRTM 50	1,101	0,038	3,375
média	1,139		

A tabela 45 mostra que os dados laser scanning 5 000e Laser Scanning 50625 foram os que mais diferiram para a sub-bacia do Rio Cachoeira. As menores variações ficaram para a o laser scanning 10 000 e a base cartográfica de 2007. A sub-bacia do Cachoeira possui um valor de Df de  $1,139 \pm 0,154$ .



TABELA 46: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA SUB-BACIA DO ITAUM

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAUM			
Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
Base cartográfica 1978	1,234	-0,078	-6,791
Laser Scanning 2007 - 50625	1,075	0,080	6,956
Laser Scanning 2007 - 25312	1,109	0,046	3,961
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,075	0,080	6,930
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,212	-0,057	-4,956
Base cartográfica 2007	1,370	-0,215	-18,573
SRTM 100	1,075	0,080	6,947
SRTM 50	1,091	0,064	5,527
média	1,155		

De acordo com a tabela 45 os dados laser scanning 10000, laser scanning 50625 e SRTM 100 foram numericamente iguais ficando com a segunda maior diferença de valor em relação à média, atrás somente da base cartográfica de 2007. O laser scanning 25312 e 5000 ficaram com as menores diferença em relação à média seguido do SRTM 50. Para esta sub-bacia tem-se um valor de Df de  $1,155 \pm 0,215$

TABELA 47: ANÁLISE DA MÉDIA DA Df DA SUB-BACIA DO VELHO

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VELHO			
Fonte	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
Base cartográfica 1978	1,174	0,054	4,414
Laser Scanning 2007 - 50625	não tem	não tem	não tem
Laser Scanning 2007 - 25312	não tem	não tem	não tem
Laser Scanning 2007 - 10 000	não tem	não tem	não tem
Laser Scanning 2007 - 5 000	não tem	não tem	não tem
Base cartográfica 2007	1,423	-0,195	-15,913
SRTM 100	1,087	0,141	11,499
SRTM 50	1,104	0,124	10,131
média	1,228		



Para a sub-bacia do Velho calculou-se a média dos valores de Df existentes para a área obtendo-se o maior desvio da média para os dados da base cartográfica de 2007 e o menor para a base cartográfica de 1978. De acordo com esta análise tem-se uma Df de  $1,228 \pm 0,195$ , como mostrado na tabela 47.

#### 4.4.2 Análise dos resultados planialtimétricos com referência na BHRC

Nesta análise são avaliados os valores de dimensão fractal aplicados obtidos para cada produto e avaliados em função de uma diferença do valor de cada sub-bacia em relação ao valor da bacia do Rio Cachoeira como um todo. Esta diferença está calculada em decimal e também em percentual em relação ao valor de referência.

Segue a tabela 48 com os resultados analisados da base cartográfica de 1978:

TABELA 48: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978

Fonte: da autora

#### BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA 1978

Bacia	Dimensão Fractal	$\Delta$ Df	%
BHRC	1,2326		
Sub-bacia do Boa Vista	1,1347	-0,098	-7,943
Sub-bacia do Bucareim	1,1763	-0,056	-4,568
Sub-bacia do Cachoeira	1,1644	-0,068	-5,533
Sub-bacia do Itaum	1,2336	0,001	0,081
Sub-bacia do Velho	1,1737	-0,059	-4,779

Os valores da tabela 48 mostram que a diferença máxima de Df das sub-bacias para com a BHRC está em aproximadamente 0,098 ou seja, 7,94% para a sub-bacia do Boa Vista enquanto que a Sub-bacia do Itaum a diferença foi a menor com 0,001 ou 0,08%.



**TABELA 49: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO SRTM 100**

Fonte: da autora

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA SRTM 100			
Bacia	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
BHRC	1,0701		
Sub-bacia do Boa Vista	1,0856	0,015	1,448
Sub-bacia do Bucareim	1,0720	0,002	0,178
Sub-bacia do Cachoeira	1,0788	0,009	0,813
Sub-bacia do Itaum	1,0749	0,005	0,449
Sub-bacia do Velho	1,0867	0,017	1,551

Para os dados SRTM 100 a maior diferença ocorreu para a sub-bacia do Velho com uma diferença de 0,017 ou 1,55%. A sub-bacia do Itaum obteve a menor diferença com 0,005 ou 0,45% como pode ser observado na tabela 49.

**TABELA 50: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO SRTM 50**

Fonte: da autora

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA SRTM 50			
Bacia	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
BHRC	1,1153		
Sub-bacia do Boa Vista	1,2211	0,151	13,539
Sub-bacia do Bucareim	1,1179	0,048	4,286
Sub-bacia do Cachoeira	1,1006	0,031	2,735
Sub-bacia do Itaum	1,0913	0,021	1,901
Sub-bacia do Velho	1,1035	0,033	2,995



Na tabela 50 os dados SRTM 50 apresentaram como a base cartográfica de 1978 a maior diferença de Df para a sub-bacia do Boa Vista com uma diferença em relação à BHRC de 0,151 ou 13,54% e, a menor diferença para a sub-bacia do Itaum com 0,0021 ou 1,90%.

#### 4.4.3 Laser Scanning

Afim de melhor analisar o potencial do produto Laser Scanning obteve-se variadas redes de drenagem cujos valores de Df serão analisados na sequência.

A tabela 51 mostra os valores relativos a um conjunto de 50625 células para a extração da rede de drenagem. Posteriormente seguem as tabelas 52, 53 e 54 com os valores referentes a 25312 células, 10000 e 5000, respectivamente.

TABELA 51: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO LASER 50625

Fonte: da autora

#### BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA LASER 50 625

Bacia	Dimensão Fractal	$\Delta$ Df	%
BHRC	1,0868		
Sub-bacia do Boa Vista	1,1256	0,039	3,570
Sub-bacia do Bucareim	1,0740	-0,013	-1,178
Sub-bacia do Cachoeira	1,0715	-0,015	-1,408
Sub-bacia do Itaum	1,0748	-0,012	-1,104

Para o grupo de valores mostrado na tabela 51 a maior diferença ficou para a Sub-bacia do Boa Vista (3,57% ) como ocorrido para os dados SRTM 50 e base cartográfica de 1978. A menor diferença ocorreu para a sub-bacia do Itaum (1,10% ).



TABELA 52: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO LASER 25312

Fonte: da autora

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA LASER 25312

Bacia	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
BHRC	1,1173		
Sub-bacia do Boa Vista	1,1278	0,011	0,940
Sub-bacia do Bucareim	1,1197	0,002	0,215
Sub-bacia do Cachoeira	1,1044	-0,013	-1,155
Sub-bacia do Itaum	1,1094	-0,008	-0,707

A tabela 52 mostra que a rede de drenagem gerada com um grupo de 25312 células forneceu valores com pequenas variações entre a BHRC e suas sub-bacias analisadas. A maior ficou em 1,15% para a sub-bacia do Rio Cachoeira e a menor para a sub-bacia do Bucareim (0,22%).

TABELA 53: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO LASER 10000

Fonte: da autora

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA LASER 10 000

Bacia	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
BHRC	1,1500		
Sub-bacia do Boa Vista	1,1860	0,036	3,130
Sub-bacia do Bucareim	1,1602	0,010	0,887
Sub-bacia do Cachoeira	1,1404	-0,010	-0,835
Sub-bacia do Itaum	1,0751	-0,075	-6,513



No caso da tabela 53, a maior diferença ficou com a sub-bacia do Itaum e a menor com a sub-bacia do Cachoeira com 0,075 (6,51%) e 0,010 (0,84%) respectivamente.

**TABELA 54: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NO LASER 5000**

Fonte: da autora

**BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA LASER 5000**

Bacia	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
BHRC	1,2925		
Sub-bacia do Boa Vista	1,3254	0,033	2,545
Sub-bacia do Bucareim	1,2353	-0,057	-4,426
Sub-bacia do Cachoeira	1,2931	0,001	0,046
Sub-bacia do Itaum	1,2124	-0,080	-6,197

O laser scanning 5000 apresentou uma diferença similar ao laser scanning 10 000 com a maior diferença em relação à BHRC para a sub-bacia do Itaum e a menor para a do Cachoeira (tabela 54).

O modelo digital do terreno gerado com pontos cotados da base cartográfica 2007 forneceram os seguintes valores de Df (tabela 55):

**TABELA 55: ANÁLISE DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 2007**

Fonte: da autora

**BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA Base Cartográfica 2007-MDT: Pontos Cotados**

Bacia	Dimensão Fractal	$\Delta Df$	%
BHRC	1,3376		
Sub-bacia do Boa Vista	1,3884	0,051	3,798
Sub-bacia do Bucareim	1,1890	-0,149	-11,109
Sub-bacia do Cachoeira	1,1591	-0,179	-13,345



Sub-bacia do Itaum	1,3697	0,032	2,400
Sub-bacia do Velho	1,4233	0,086	6,407

Na análise dos dados obtidos a partir da base cartográfica 1: 1000 verifica-se que, tomando-se o valor de Df para BHRC como base as maiores diferenças ocorreram nas sub-bacias do Bucareim e Cachoeira.

#### 4.5 ANÁLISE COM REFERÊNCIA NOS DADOS DE 1978

Tomando-se os valores de Df obtidos a partir da base cartográfica digital de 1978 como referência pode-se verificar as variações ocorridas na rede de drenagem pela utilização de diferentes produtos do sensoriamento remoto ou ainda verificar uma provável diferença da rede de drenagem numa análise temporal.

Para a BHRC as variações ficaram em:

TABELA 56: DIFERENÇA DA Df DA BHRC OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978

Fonte: da autora

#### BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA

Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
Base cartográfica 1978	1,233	-	-
Laser Scanning 2007 - 50625	1,087	0,146	11,829
Laser Scanning 2007 - 25312	1,117	0,115	9,354
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,150	0,083	6,701
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,293	-0,060	-4,860
Base cartográfica 2007	1,338	-0,105	-8,519
SRTM 100	1,070	0,163	13,184
SRTM 50	1,115	0,117	9,516



Partindo do princípio que a base de 1978 possui a rede de drenagem mais antiga dentre os dados analisados observa-se na tabela 56 que as maiores diferenças de Df ficaram para os dados SRTM100 (13,18%) e para os dados Laser Scanning 50625. A seguir vem os valores obtidos com SRTM50 e Laser Scanning 25312. Numa análise geral verifica-se que há uma expressiva diferença entre os valores de Df o que pode se dar em função de alterações na rede de drenagem ocorridas no passar do tempo. A diferença entre o maior (1,338) e o menor valor (1,070) ficou em 0,268 o que representa um acréscimo de 25,04% se tomarmos como referencia o menor valor, ou um decréscimo de 20,03% tomando-se como referência o maior valor.

Para as sub-bacias da BHRC tem-se:

**TABELA 57: DIFERENÇA DA Df DA SUB-BACIA DO BOA VISTA OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978**

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOA VISTA			
Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
Base cartográfica 1978	1,135	-	-
Laser Scanning 2007 - 50625	1,126	0,009	0,802
Laser Scanning 2007 - 25312	1,128	0,007	0,608
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,186	-0,051	-4,521
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,325	-0,191	-16,806
Base cartográfica 2007	1,388	-0,254	-22,358
SRTM 100	1,086	0,049	4,327
SRTM 50	1,221	-0,086	-7,614

A sub-bacia do Rio Boa Vista cujos resultados encontram-se na tabela 57, possui um elevado valor de diferença em relação à base cartográfica de 1978 para a base cartográfica de 2007 e também para o Laser Scanning 5000. O que enfatiza haver ocorrido significativas alterações na rede de drenagem seja pela alteração natural dos cursos d'água seja pela ação antrópica. Esta diferença já havia sido detectada na análise realizada com a média dos valores de Df desta sub-bacia.



TABELA 58: DIFERENÇA DA Df DA SUB-BACIA DO BUCAREIM OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BUCAREIM			
Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
Base cartográfica 1978	1,176	-	-
Laser Scanning 2007 - 50625	1,074	0,102	8,697
Laser Scanning 2007 - 25312	1,120	0,057	4,812
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,160	0,016	1,369
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,235	-0,059	-5,016
Base cartográfica 2007	1,189	-0,013	-1,080
SRTM 100	1,072	0,104	8,867
SRTM 50	1,118	0,058	4,965

No caso da sub-bacia do Bucareim os dados SRTM100 e Laser Scanning 50625 foram os mais discrepantes em relação à base cartográfica de 1978 enquanto as menores variações ocorreram para a base cartográfica 2007 e laser scanning 10 000 (tabela 58).

TABELA 59: DIFERENÇA DA Df DA SUB-BACIA DO CACHOEIRA OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA			
Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
Base cartográfica 1978	1,164	-	-
Laser Scanning 2007 - 50625	1,072	0,093	7,978
Laser Scanning 2007 - 25312	1,104	0,060	5,153
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,140	0,024	2,061



Laser Scanning 2007 - 5 000	1,293	-0,129	-11,053
Base cartográfica 2007	1,159	0,005	0,455
SRTM 100	1,079	0,086	7,351
SRTM 50	1,101	0,064	5,479

A tabela 59 mostra que a sub-bacia do Rio Cachoeira os dados do Laser Scanning 5000 apresentaram uma diferença de 11,05% em relação à base de 1978. Logo após vêm os valores do laser scanning 50525 e SRTM 100. A menor diferença ficou com a base cartográfica 2007 assim como no caso da sub-bacia do Bucareim.

TABELA 60: DIFERENÇA DA Df DA SUB-BACIA DO ITAUM OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAUM			
Fonte	Df	Δ Df	%
Base cartográfica 1978	1,234	-	-
Laser Scanning 2007 - 50625	1,075	0,159	12,873
Laser Scanning 2007 - 25312	1,109	0,124	10,068
Laser Scanning 2007 - 10 000	1,075	0,159	12,849
Laser Scanning 2007 - 5 000	1,212	0,021	1,719
Base cartográfica 2007	1,370	-0,136	-11,033
SRTM 100	1,075	0,159	12,865
SRTM 50	1,091	0,142	11,535

Para a sub-bacia do Itaum (tabela 60) quase todas as diferenças em relação à base de 1978 ficaram acima de 10%. A única exceção foi o laser scanning 5000. Isto se deve provavelmente a uma alteração ocorrida nos cursos d'água como verificado para a sub-bacia do Boa Vista.

TABELA 61: DIFERENÇA DA Df DA SUB-BACIA DO VELHO OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NA BASE DE 1978

Fonte: da autora

SUB BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VELHO			
-------------------------------------	--	--	--



Fonte	Df	$\Delta$ Df	%
Base cartográfica 1978	1,174	-	-
Base cartográfica 2007	1,423	-0,250	-21,266
SRTM 100	1,087	0,087	7,412
SRTM 50	1,104	0,070	5,981

Para a sub-bacia do Rio Velho (tabela 61) os dados laser scanning não estavam disponíveis o que diminui as possibilidades de comparações de resultados. No entanto, para esta sub-bacia, assim como para a sub-bacia do Boa Vista, houve uma grande diferença do valor de Df entre as bases cartográficas de 1978 e 2007. O que leva a considerar também ter havido uma alteração da rede de drenagem para esta sub-bacia entre as datas analisadas.

#### 4.5.1 *Análise com referência nos dados laser scanning*

A análise com base nos dados do laser scanning tem como objetivo verificar as variações nos valores de Df ocorridas em função da extração da rede de drenagem alterando-se o número de células utilizadas para tanto bem como comparar os valores obtidos para os dados deste sensor para com os demais.

Na tabela 62 encontram-se os valores para os diferentes grupos de células dos quais se extraiu a rede de drenagem.

TABELA 62: DIFERENÇA DA Df OBTIDA COM O METODO AUTOMATIZADO COM REFERENCIA NOS DADOS LASER SCANNING

Fonte: da autora

No Células	Dimensão Fractal				
	BHRC	Boa Vista	Bucareim	Cachoeira	Itaum
50625	1,087	1,126	1,074	1,072	1,075
25312	1,117	1,128	1,120	1,104	1,109
10 000	1,150	1,186	1,160	1,140	1,075
5 000	1,293	1,325	1,235	1,293	1,212
média	1,162	1,191	1,147	1,152	1,118



A partir dos dados da tabela 62 se verifica que, quanto menor o número de células utilizadas para se definir a área de contribuição para a formação da rede em questão, maior o valor de Df.

Os dois primeiros números de células 50.625 e 25.312 foram determinados para possibilitar uma comparação mais fidedigna aos dados SRTM 100 e 50 respectivamente. O pixel do SRTM possui 90m x 90m o que nos dá uma área de 8.100 m<sup>2</sup>. Para 100 células de SRTM temos então uma área de 810.000 m<sup>2</sup> e para 50 células 405.000 m<sup>2</sup>. O produto laser scanning possui uma distancia de 4m entre pontos o que gerou um arquivo raster cujo pixel possui 4m x 4m ou 16 m<sup>2</sup>. Para se ter uma área equivalente na rede de drenagem obtida com este produto utilizou-se então um grupo de 50.625 células o equivalente a 810.000m<sup>2</sup> e outro grupo de 25.312 equivalente a 405.000 m<sup>2</sup>. Já as redes geradas com 10.000 e 5.000 células tem o objetivo de quantificar a diferença de Df ao se variar a rede de drenagem.

Como forma de auxiliar na comparação dos valores obtidos segue abaixo a tabela 63 com os valores equivalentes de SRTM e Laser Scanning obtidos a partir da utilização do mesmo procedimento metodológico: Laser Scanning 50.625 versus SRTM 100 e Laser Scanning 25.312 versus SRTM 50 com as respectivas variações ( $\Delta$  Df) tomando-se como referência o menor valor de Df.

TABELA 63: DIFERENÇA DA Df PLANIALTIMÉTRICA ENTRE DADOS LASER E SRTM

Fonte: da autora

Dado	Dimensão Fractal				
	BHRC	Boa Vista	Bucareim	Cachoeira	Itaum
Laser 50625	1,087	1,126	1,074	1,072	1,075
SRTM100	1,150	1,186	1,160	1,140	1,075
$\Delta$ Df	-0,063	-0,060	-0,086	-0,068	0,000
$\Delta$ Df (%)	-5,796	-5,329	-8,007	-6,343	0,000
Laser 25312	1,117	1,128	1,120	1,104	1,109
SRTM 50	1,293	1,325	1,235	1,293	1,212
$\Delta$ Df	-0,176	-0,197	-0,115	-0,189	-0,103
$\Delta$ Df (%)	-15,756	-17,465	-10,268	-17,120	-9,288

Observa-se na tabela 63 que os valores de Df para a rede de drenagem gerada a partir dos dado laser mostram-se inferiores aos gerados pelo SRTM à



exceção da sub-bacia Itaum que obteve para o laser 50.625 e SRTM100 os mesmos valores. Isto significa que a rede de drenagem gerada pelo laser é menos complexa se comparada a gerada pelo SRTM e também que o produto utilizado (laser e SRTM) em conjunto com o método de extração de rede de drenagem pode não condizer com a melhor representação deste elemento da paisagem.

Há que se considerar ainda o fato de se ter produtos gerados em diferentes datas, o SRTM em 2000 e o Laser em 2007. No intuito de verificar o valor de Df obtido a partir de dois produtos diferentes numa mesma data pode-se comparar os valores do laser à base cartográfica produzida no mesmo ano.

TABELA 64: DIFERENÇA DA Df PLANIALTIMÉTRICA ENTRE DADOS LASER E BASE CARTOGRAFICA 2007

Fonte: da autora

Dado	Dimensão Fractal				
	BHRC	Boa Vista	Bucareim	Cachoeira	Itaum
Laser 50625	1,087	1,126	1,074	1,072	1,075
Laser 25312	1,117	1,128	1,120	1,104	1,109
Laser 10 000	1,150	1,186	1,160	1,140	1,075
Laser 5 000	1,293	1,325	1,235	1,293	1,212
Base 2007	1,338	1,388	1,189	1,159	1,370

A base cartográfica de 2007, obtida por fotogrametria com escala 1: 1000 possui valores de Df para a BHRC e sub-bacias que mais se aproximam do Laser 5.000 como mostra a tabela 64. A diferença ocorrida entre a Df da BHRC para os referidos dados ficou em 3,45% aproximadamente mas, para a sub-bacia do Itaum chegou a 13,01%.

Considerando-se pois que os dados foram obtidos na mesma época uma diferença desta magnitude (13% ou 0,158 da Df) caracteriza uma diferença da rede de drenagem obtida através de dois diferentes processos: restituição fotogramétrica e Modelo Digital do Terreno obtida por varredura a Laser.



#### 4.5.2 Análise com referência nas datas mais próximas

Neste subitem comparam-se os valores das datas mais próximas dos produtos do sensoriamento remoto: Laser Scanning e Base Cartográfica de 2007 e SRTM de 2000. Por não possuir a informação dos dados laser scanning a sub-bacia do Rio Velho não se faz presente neste sub-item.

TABELA 65: DIFERENÇA DA Df PLANIALTIMÉTRICA DE DATAS MAIS PRÓXIMAS  
Fonte: da autora

Dado	Dimensão Fractal				
	BHRC	Boa Vista	Bucareim	Cachoeira	Itaum
Laser 50625	1,087	1,126	1,074	1,072	1,075
Laser 25312	1,117	1,128	1,120	1,104	1,109
Laser 10 000	1,150	1,186	1,160	1,140	1,075
Laser 5 000	1,293	1,325	1,235	1,293	1,212
Base 2007	1,338	1,388	1,189	1,159	1,370
SRTM100	1,150	1,186	1,160	1,140	1,075
SRTM 50	1,293	1,325	1,235	1,293	1,212
media	1,204	1,238	1,168	1,172	1,161

A tabela 65 mostra que os maiores valores de Df ficaram entre os dados da base cartográfica de 2007, o laser 5.000 e SRTM 50 sendo que para as sub-bacias do Bucareim, Cachoeira e Itaum os valores para o laser 5.000 e o SRTM 50 ficaram iguais. Os menores valores ficaram com o Laser 50625 por apresentar este produto a rede de drenagem menos complexa.

Numericamente a maior diferença ficou em 17,97% para a sub-bacia do Itaum com os dados da base cartográfica de 2007. A menor diferença ficou com a sub-bacia do Bucareim para os dados laser 10.000 e SRTM 100 (ambos com 0,65%).

#### 4.5.3 Laser Scanning versus SRTM

Comparando-se os valores obtidos para os dados laser e SRTM apresentados na tabela 69 verifica-se que o maior valor médio ficou para a sub-bacia do Boa Vista com  $1,140 \pm 0,027$  enquanto o menor valor médio ficou em  $1,088 \pm 0,023$  para a sub-bacia do Rio Itaum.



TABELA 66: RESUMO DA Df PLANIALTIMÉTRICA LASER E SRTM PARA BHRC E SUB-BACIAS

Fonte: da autora

Bacia Hidrográfica	Laser		SRTM		média
	50 625	25 312	100	50	
BHRC	1,087	1,117	1,070	1,115	1,097
Rio Boa Vista	1,126	1,128	1,086	1,221	1,140
Rio Bucareim	1,074	1,120	1,072	1,118	1,096
Rio Cachoeira	1,072	1,104	1,079	1,101	1,089
Rio Itaum	1,075	1,109	1,075	1,091	1,088

O gráfico mostrado na figura 47 possibilita uma melhor visualização da diferença de valores obtidos para estes produtos. Nesta figura foram utilizados somente as redes de drenagem obtidas através de quantidades de células equivalentes utilizadas com o método D8 para sua extração.

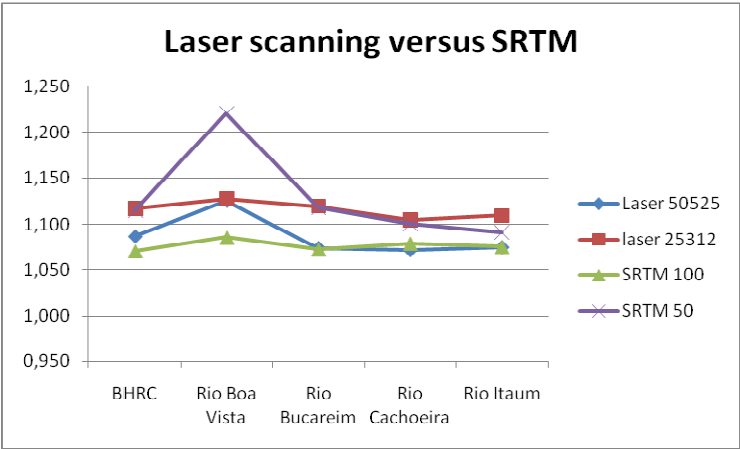


Figura 47: Laser Scanning versus SRTM



Fonte: da autora

O gráfico mostra que as redes equivalentes Laser 50525 e SRTM 100 mostram um padrão que se repete que se difere daquele obtido para o Laser 25312 e SRTM 50. Observa-se também que a maior diferença ocorreu para sub-bacia do Rio Boa Vista ficando mais próximos os valores para as demais bacias hidrográficas analisadas.

#### 4.5.4 *Análise da dimensão fractal versus densidade de drenagem*

Para todas as bacias hidrográficas analisadas a base cartográfica de 2007 apresentou uma maior quantidade de canais e uma maior densidade de drenagem. Não foi, no entanto, para todas as sub-bacias o maior valor de dimensão fractal como no caso da sub-bacia do Cachoeira e do Bucareim onde o Laser 5.000 forneceu o maior valor de Df (figura 47). Isto mostra a relação existente entre o delineamento da rede de drenagem na superfície a complexidade deste elemento natural.

Na sequência seguem os valores obtidos de Dd e Df para a BHRC e sub-bacias apresentados na forma de tabela e gráficos que complementam as análises.

TABELA 67: Df PLANIALTIMÉTRICA E Dd DA BHRC E SUB-BACIAS

Fonte: da autora

Bacia Hidrográfica	Fonte dados	Área	Comp. Canais	Dd	Df
BHRC	Base 1978	125,424	180,395	1,438	1,233
	Base 2007		373,193	2,975	1,338
	SRTM 100		92,231	0,735	1,070
	SRTM 50		127,119	1,014	1,115
	Laser 5.000		159,705	1,273	1,293
	Laser 10.000		105,980	0,845	1,150
	Laser 25.312		77,381	0,617	1,117
	Laser 50.625		55,010	0,439	1,087
Sub-Bacia do	Base 1978	21,899	31,891	1,456	1,176



<b>Rio Bucareim</b>	Base 2007		54,694	2,498	1,189
	SRTM 100		21,257	0,971	1,072
	SRTM 50		27,444	1,253	1,118
	Laser 5.000		47,444	2,167	1,235
	Laser 10.000		33,032	1,508	1,160
	Laser 25.312		20,765	0,948	1,120
	Laser 50.625		15,764	0,720	1,074
<b>Sub-Bacia do Rio Boa Vista</b>	Base 1978	10,199	15,423	1,512	1,135
	Base 2007		46,527	4,562	1,388
	SRTM 100		8,770	0,860	1,086
	SRTM 50		14,249	1,397	1,221
	Laser 5.000		19,997	1,961	1,325
	Laser 10.000		12,631	1,238	1,186
	Laser 25.312		3,983	0,391	1,128
	Laser 50.625		5,996	0,588	1,126
<b>Sub-Bacia do Rio Cachoeira</b>	Base 1978	34,984	44,879	1,283	1,164
	Base 2007		70,192	2,006	1,159
	SRTM 100		25,938	0,741	1,079
	SRTM 50		38,957	1,114	1,101
	Laser 5.000		46,801	1,338	1,293
	Laser 10.000		30,762	0,879	1,140
	Laser 25.312		20,310	0,581	1,104
	Laser 50.625		14,471	0,414	1,072
<b>Sub-Bacia do Rio Itaum</b>	Base 1978	28,741	55,181	1,920	1,234
	Base 2007		89,861	3,127	1,370
	SRTM 100		23,956	0,834	1,075
	SRTM 50		31,331	1,090	1,091
	Laser 5.000		45,041	1,567	1,212
	Laser 10.000		29,578	1,029	1,075
	Laser 25.312		26,650	0,927	1,109
	Laser 50.625		22,448	0,781	1,075
<b>Sub-Bacia do Rio Velho</b>	Base 1978		31,979	1,080	1,174
	Base 2007		112,178	3,787	1,423



	SRTM 100	29,619	12,310	0,416	1,087
	SRTM 50		15,138	0,511	1,104

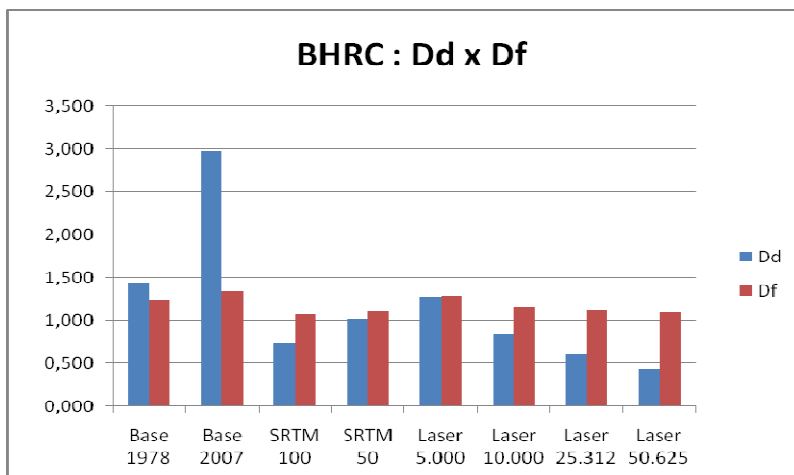


Figura 48: Gráfico relacionando Dd e Df da BHRC

Fonte: da autora

Como se pode observar na figura 48 e na tabela 70, a diferença da Df ocorre de maneira variada em relação à densidade de drenagem dos cursos d'água na área de estudo, mostrando, no entanto, um padrão de ocorrência o qual pode ser observado mais claramente nas figuras 48 e 49 as quais mostram separadamente o estas variações.

A relação entre a densidade de drenagem (Dd) e a dimensão fractal (Df) é complexa. Verifica-se no gráfico da figura 48 que a Dd varia de um valor inferior a 0,5 para quase 3 enquanto a Df varia de pouco mais de 1,0 para menos de 1,5, mostrando assim que o valor da Df está intimamente ligado ao padrão que a rede de drenagem desenvolve na superfície, seu delineamento sobre a área em que se desenvolve.



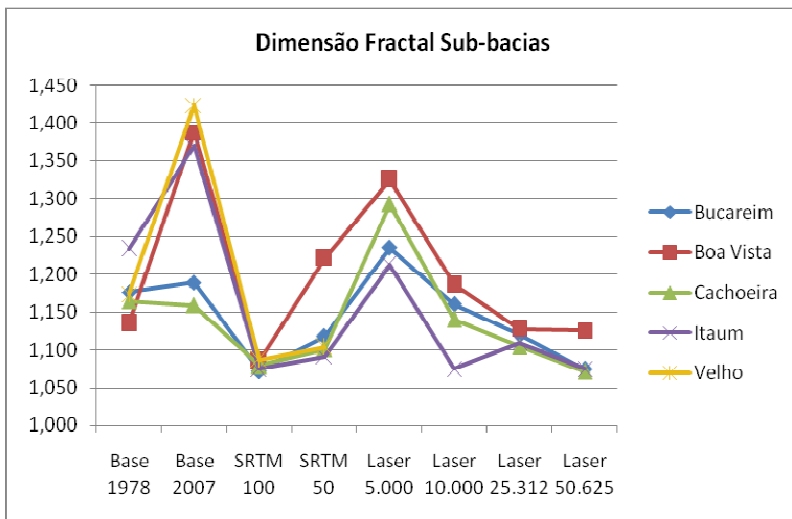


Figura 49: Diferença da Df das sub-bacias  
Fonte: da autora

A figura 49 mostra os diferentes valores de dimensão fractal obtidos para cada dado utilizado nas sub-bacias. A partir deste gráfico se pode observar a diferença de um padrão mostrando a auto-similaridade deste elemento fractal. Ocorrem dois picos máximos no gráfico, um para os dados da Base cartográfica 2007 e outro para o laser 5.000, ou seja, para o produto cartográfico que possui a maior precisão de acordo com as normas cartográficas brasileiras, a base cartográfica na escala 1: 1000 e para a rede de drenagem obtida com um produto de maior resolução no MNT e menor grupo de células utilizado para a extração da mesma.



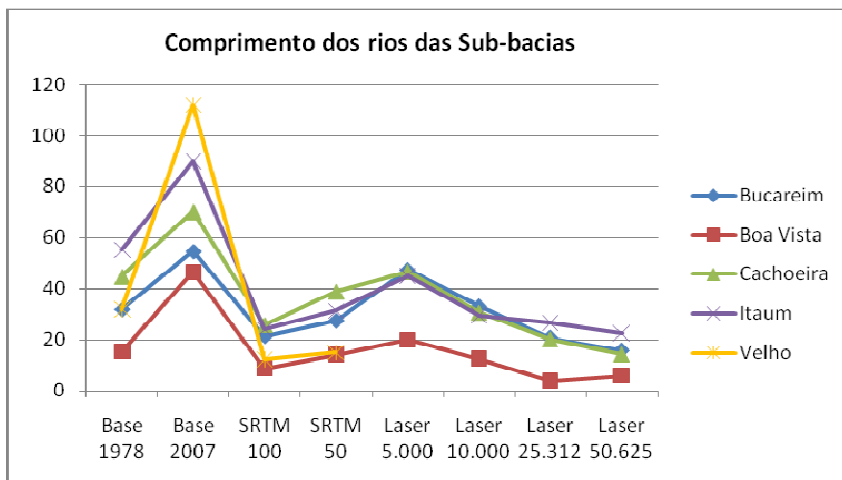


Figura 50: Gráfico da diferença do comprimento dos rios das sub-bacias  
Fonte: da autora

Utilizando-se as diferentes redes de drenagem verificou-se obter diferentes valores de Df cuja diferença não é constante. Para cada produto analisado obteve-se um delineamento da rede de drenagem que apresenta um padrão que se repete como pode ser observado na figura 50. Assim como a Df apresentou picos no gráfico nos produtos base cartográfica 2007 e laser 5.000, o mesmo ocorreu para os comprimentos dos rios nas sub-bacias.

## DIMENSÃO FRACTAL PLANIMÉTRICA VERSUS DIMENSÃO FRACTAL PLANIALTIMÉTRICA

A comparação entre os valores planimétricos e planialtimétricos é controversa na medida em que se tratam de diferentes representações do mesmo elemento. No entanto, no intuito de se explorar as variações dos valores de dimensão fractal das redes de drenagem obtidas através das diferentes manipulações sofridas pelos dados de entrada, segue neste item uma análise acerca dos dados finais obtidos.

Para que se possa comparar os valores obtidos de dimensão fractal planimétrica e planialtimétrica somente serão apresentados neste item aqueles obtidos a partir dos mesmos produtos do sensoriamento remoto: base



cartográfica 1978, base cartográfica de 2007, laser scanning 10.000 e 5.000 , SRTM 100 e 50.

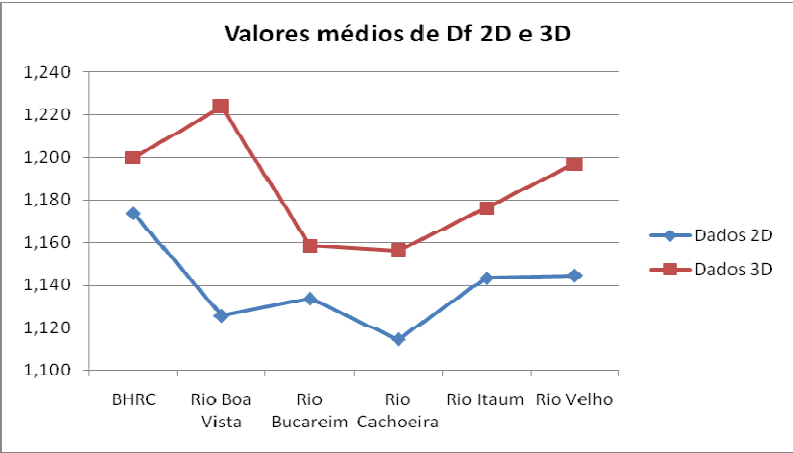


Figura 51: Diferença da Df planimétrica versus planialtimétrica da BHRC e sub-bacias  
Fonte: da autora

Observa-se na figura 51 que a diferença média da Df não é constante e para os dados planimétricos e planialtimétrica. Os valores obtidos com dados de altimetria são mais elevados em relação aos planimétricos mostrando assim a importância de uma análise que leve em consideração o padrão espacial apresentado no eixo ‘z’ além daquele observado sobre a superfície representada em duas dimensões euclidianas.

TABELA 68: COMPARAÇÃO ENTRE Df PLANIMÉTRICA E PLANIALTIMÉTRICA  
Fonte: da autora

Bacia Hidrográfica	média planimétrica	média planialtimétrica	diferença (planialtimétrica - planimétrica)	Diferença %
BHRC	1,174	1,200	0,026	2,169
Rio Boa Vista	1,126	1,224	0,098	8,012
Rio Bucareim	1,134	1,158	0,025	2,154
Rio Cachoeira	1,115	1,156	0,042	3,596
Rio Itaum	1,143	1,176	0,033	2,792
Rio Velho	1,144	1,197	0,053	4,391



A maior diferença entre a Df planimétrica e planialtimétrica mostradas na tabela 71 ocorreu para a sub-bacia do Boa Vista uma das sub-bacias cujos valores mais variaram. As demais variações não se mostram maiores do que 4,4% ou 0,053 em valor de Df.

Parcialmente a divergência de valores pode ocorrer em função o número de pontos utilizados para se gerar o gráfico pelo método manual e o automatizado pois, quanto maior o número de pontos no gráfico mais precisa será a determinação do coeficiente angula da reta que origina a Df. Variando-se este parâmetro como mostrado em item anterior, pode-se variar o valor da Df em até 11% quando gerando a análise no software Bacia Fractal.

No entanto, espera-se que uma rede de drenagem quando possui suas feições analisadas em três eixos (planialtimétrica) apresente valores diferenciados se comparados a uma representação em dois eixos (planimétrica). Os valores de Df em planialtimétrica foram maiores em relação à planimétrica, o que ocorreu para todas as bacias hidrográficas analisadas à exceção da sub-bacia do Boa Vista. As características geomorfológicas neste caso contribuíram para este fato, o praticamente plano relevo diminuiu ligeiramente a média da Df planialtimétrica uma vez que a altimetria é utilizada para a geração da rede de drenagem planialtimétrica.

O valor da diferença dos valores médios de Df para cada bacia está dentro do intervalo de diferença ocorrido para as redes de drenagem obtida por diferentes produtos do sensoriamento remoto.

Para as sub-bacias o resumo dos valores obtidos são os que seguem:

TABELA 69: Df PLANIMÉTRICA E PLANIALTIMÉTRICA DA BHRC E SUB-BACIAS

Fonte: da autora

Bacia Hidrográfica	média planimétrica	média planialtimétrica
Rio Boa Vista	1,126±0,150	1,224±0,189
Rio Bucareim	1,134±0,068	1,158±0,092
Rio Cachoeira	1,115±0,045	1,156±0,154
Rio Itaum	1,143±0,125	1,176±0,215
Rio Velho	1,144±0,240	1,197±0,227



Os valores apresentados na tabela 72 mostram uma rede de drenagem com mediana complexidade com valores de Df próximo aos encontrados por pesquisadores em outras partes do Brasil e do mundo. Vestena e Kobiyama (2010), por exemplo, encontraram valores entre 1,66 e 1,81 para a Bacia Hidrográfica do Rio Caeté aplicando o método Box-counting para uma base cartográfica na escala 1: 50 000. Lopes, Paula e Vieira (2002) utilizaram o mesmo método para determinar a fractalidade da rede de drenagem da cidade do Rio de Janeiro e obtiveram para uma carta na escala 1:200 000 valores de dimensão fractal analisados na forma matricial e vetorial. Na forma matricial obtiveram o intervalo de  $1,23 \pm 0,09$  enquanto que na forma vetorial  $1,15 \pm 0,08$ . Os mesmo pesquisadores afirmam que a diferença entre os valores obtidos observando-se os desvios da média foram relativamente altos entre 6,5 e 7% estando, no entanto, coerentes com o domínio das fractalidades de rios apresentados por Hack (1957): entre 1,1 e 1,3.

#### 4.6.1 Análises das bases cartográficas planimétrica e planialtimétrica

Analisando-se a Df obtida com a base cartográfica planimétrica tem-se:

TABELA 70: COMPARAÇÃO Df PLANIMÉTRICA DAS BASES CARTOGRÁFICAS

Fonte: da autora

Rede drenagem planimétrica	Base Cart. 1978	Base Cart. 2007	média	desv. Média	
				1978	2007
<b>BHRC</b>	1,167	1,282	<b>1,225</b>	0,057	-0,058
<b>Rio Boa Vista</b>	1,108	1,275	<b>1,192</b>	0,083	-0,083
<b>Rio Bucareim</b>	1,189	1,135	<b>1,162</b>	-0,027	0,027
<b>Rio Cachoeira</b>	1,159	1,095	<b>1,127</b>	-0,032	0,032
<b>Rio Itaum</b>	1,129	1,268	<b>1,199</b>	0,070	-0,069
<b>Rio Velho</b>	1,052	1,384	<b>1,218</b>	0,166	-0,166

A diferença mostrada na tabela 73 apresenta o valor máximo de Df obtido para a sub-bacia do velho de  $1,384 \pm 0,166$  e o valor mínimo para a sub-bacia do Rio cachoeira com o valor de  $1,095 \pm 0,032$ . O maior valor médio obtido para a BHRC quando analisa-se os dados planimétricos leva a concluir que, ao



analisar-se a bacia hidrográfica como um todo ela se apresenta uma maior complexidade do que quando se analisa suas partes (sub-bacias).

TABELA 71: COMPARAÇÃO Df PLANIALTIMÉTRICA DAS BASES CARTOGRÁFICAS

Fonte: da autora

Rede drenagem planialtimétrica	Base Cart. 1978	Base Cart. 2007	média	desv. Média	
				1978	2007
<b>BHRC</b>	1,233	1,338	<b>1,285</b>	0,053	-0,053
<b>Rio Boa Vista</b>	1,135	1,388	<b>1,262</b>	0,127	-0,127
<b>Rio Bucareim</b>	1,176	1,189	<b>1,183</b>	0,006	-0,006
<b>Rio Cachoeira</b>	1,164	1,159	<b>1,162</b>	-0,003	0,003
<b>Rio Itaum</b>	1,234	1,370	<b>1,302</b>	0,068	-0,068
<b>Rio Velho</b>	1,174	1,423	<b>1,299</b>	0,125	-0,125

Na análise planialtimétrica cujos resultados encontram-se na tabela 74, mostra que para a sub-bacia do Itaum o maior valor médio de Df ficando em  $1,302 \pm 0,068$ . Já o menor valor, assim como na análise planimétrica ficou com a menor média:  $1,162 \pm 0,003$ . O menor desvio da média ficou com a sub-bacia do Rio cachoeira mostrando uma maior invariância do padrão da rede de drenagem para os dados das bases cartográficas.

Os valores obtidos com o software bacia fractal foram determinados a partir de 15 pontos geradores de uma reta cujo coeficiente angular é o valor da Df. A partir dos teste realizados obteve-se uma diferença máxima para estes valores em até 14,29% e o intervalo mais apropriado para se obter um valor de Df mais próximo da média encontrada iniciando-se com um grid de tamanho 750x750m e variando-se de 50 em 50m seu tamanho até que o grid atinja o tamanho de 50x50m, assim, a reta é gerada com um conjunto de 15 pontos fornecendo um resultado mais acurado.



## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

O cálculo da dimensão fractal vem sendo estudado por pesquisadores de diferentes áreas no Brasil e no mundo nas últimas décadas, variando-se métodos de cálculos e produtos do sensoriamento remoto de onde extraem os dados obtêm diferentes resultados. Para o estudo das redes de drenagem esta teoria vêm sendo aplicadas de modo a se melhor compreender o comportamento destes elementos naturais, sua forma, os processos erosivos, características geológicas e ambientais.

Caracterizou-se nesta pesquisa os cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC) localizada no Estado de Santa Catarina no município de Joinville, local com geomorfologia característica do litoral norte catarinense, fazendo limite a leste com o Oceano Atlântico, possuindo relevo praticamente plano com altimetria variando do nível do mar a 228 metros. Analisou-se, portanto, o padrão fractal de uma rede de drenagem caracterizada por se encontrar numa área a qual sofre uma grande intervenção antrópica nas últimas décadas e que, em função de sua geomorfologia sofre intensamente os impactos com a inundação de áreas densamente povoadas.

A quantificação da rede de drenagem com base na teoria fractal contribui significativamente para o conhecimento dos padrões desenvolvidos por estes elementos de modo que esta informação possa ser utilizada em modelos de análise mais complexos. Uma importante característica dos fractais foi confirmada através dos valores encontrados de  $D_f$ : a auto-similaridade. Mesmo apresentando diferentes valores de  $D_f$  para a BHRC e sub-bacias, observa-se a existência de um padrão que se repete nas escalas de análise tanto para os dados analisado em planimetria quanto em planialtimetria. Seu intervalo de diferença calculado mostra a confirmação da hipótese 1 apontada no primeiro capítulo deste volume.

Os resultados desta pesquisa mostraram na análise dos dados com informação planimétrica, considerando-se as diferenças ocorridas em função dos diferentes produtos utilizados, forneceram um valor de  $D_f$  para a BHRC de  $1,174 \pm 0,108$ . Os dados planialtimétricos forneceram para a mesma bacia o valor de  $1,200 \pm 0,162$ . Os valores aqui obtidos se aproximam do intervalo obtido por autores (Christofolletti & Christofolletti 1994, Gosh et al 2008, Lopes et al 2002, Serra & Karas 1997, Vestena & Kobiyama 2010, Da Silveira 2006) acerca de dados



vetoriais com um maior intervalo de diferença ocorrido em função do processo utilizado para determinar as médias e desvios da média.

Os produtos do sensoriamento remoto mostraram-se eficazes na representação da rede de drenagem da área estudada através do cálculo da Df. Os resultados obtidos com o laser scanning 5.000 se aproximam dos valores de Df da base cartográfica de 2007. Os dados laser scanning (50.625 e 25.312 células) gerados para compará-los aos dados SRTM100 e 50 mostraram variações entre seus resultados menores entre as redes de drenagem geradas com um maior número de células, chegando a 0,086 ou 8% para a sub-bacia do Bucareim. As redes geradas com um menor número de células apresentaram maiores divergências, de até 17,47%. As diferenças aumentam à medida que se utiliza um maior número e células para gerar a rede de drenagem com o laser scanning o que também aconteceria reduzindo-se o número de células para o SRTM, até o limite de sua resolução, porém, as diferenças de valores de Df continuariam a existir. O que enfatiza a ocorrência de diferentes resultados em função das diferentes características dos diferentes sensores envolvidos na pesquisa: câmeras aerofotogramétricas, Laserscanner e radar.

Para a análise dos dados planimétricos os resultados obtidos com dados de MDT ficaram compreendidos entre  $1,093 \pm 0,090$  e  $1,148 \pm 0,094$  incluindo nestes valores a BHRC e sub-bacias. Três dos maiores valores de Df ficaram para o laser scanning 5.000 e os outros dois para o SRTM 100. Para os planialtimétricos obteve-se para todas as bacias analisadas os maiores desvios para o laser 5.000 cujos valores ficaram compreendidos entre  $1,106 \pm 0,106$  e  $1,139 \pm 0,154$ , mostrando em valores a característica precisão altimétrica do produto laser pois, esta diferença mostra uma rede de drenagem mais complexa representada tridimensionalmente, confirmando a segunda hipótese apontada neste trabalho. Vale ainda deixar explicitado que o produto laserscanning não foi completamente explorado nesta pesquisa, gerou-se redes de drenagem que possibilitaram a comparação entre os produtos do sensoriamento remoto porém, os resultados obtidos levam a concluir que, se for explorado até o limite de sua precisão, os resultados serão ainda mais diferentes dos obtidos para esta pesquisa pois, irão refletir uma rede de drenagem mais complexa.

As bases cartográficas de 1978, escala 1:50 000, e 2007, escala 1:1 000, também apresentaram diferentes valores de Df tanto para os dados planimétricos quanto para os altimétricos segundo os mesmos métodos de análise. Esta diferença era esperada em função de se trataram de duas representações diferentes da rede drenagem em função da escala de



representação das mesmas bem como pelo fato de refletirem dois momentos, duas datas distintas. Na análise dos dados planimétricos os valores mínimo e máximo ficaram em  $1,192 \pm 0,083$  e  $1,225 \pm 0,058$  respectivamente. Para os dados planialtimétricos obteve-se o menor valor médio de  $1,162 \pm 0,003$  e o maior de  $1,302 \pm 0,068$ .

Comparando-se a média dos valores obtidos para as redes geradas por MDT e por fotogrametria obteve-se uma diferença máxima de 0,099 de Df ou 8,62%, valor relativamente alto, o que confirma a análise realizada por Andrade Filho et al (2009) os quais realizaram comparações entre as formas da rede de drenagem obtidas por MDT de SRTM e base cartográfica na escala 1:100 000, e afirmam haver baixa conformidade entre os dados apontando redes de drenagem bastante diferenciadas para áreas planas. Esta baixa conformidade é verificada através da sobreposição das feições e, em havendo divergência, há também um diferente relacionamento entre o elemento e o ambiente em que ele se encontra fazendo, portanto, com que um dos produtos não represente adequadamente esta relação.

A utilização do software bacia fractal facilitou o processo e obtenção da dimensão fractal, diminuindo consideravelmente o tempo de trabalho necessário se compararmos com o método manual. Enquanto que para o cálculo com método manual foram necessários 12 meses os cálculos com o método automatizado necessitaram de 3 meses, uma redução de quatro vezes.

Ao fim foi possível verificar que os dados multitemporais obtidos a partir dos diferentes sensores forneceram resultados de análise satisfatório, dentro de um intervalo de confiança calculado, os quais devem ser utilizados como indicadores no planejamento e execução de projetos de macrodrenagem, pois, leva assim, em consideração uma descrição numérica que expressa o grau de irregularidade deste elemento natural.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ALMEIDA, Arlete Aparecida Oliveira de, **Os fractais na formação docente e sua prática em sala de aula**, Dissertação de Mestrado apresentada à Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 142p, São Paulo, 2006.

ANA – Agência Nacional de Águas, **A ANA na gestão das águas**, disponível na URL://  
<http://www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/TecnologiaCapacitacao/default2.asp>,  
acessado em 18/08/2008, 2008.

ARTH, F.T. Evolução nos aspectos institucionais e no gerenciamento de recursos hídricos no Brasil. In: FREITAS, M.A.V.de; GONÇALVES, F.L.; MACEDO, G.R. (Coord). **O estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos**. Anel: Superintendência de estudos e informações hidrológicas. 2000. 1 CD-ROM.

BACKES, André Ricardo & BRUNO, Odemir Martinez, **Técnicas de Estimativa da Dimensão Fractal: Um Estudo Comparativo**, In.: INFOCOMP – Journal of Computer Science, vol. 4, Universidade de São Paulo, ICMC - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, 9p, 2005 disponível na URL://  
<http://www.dcc.ufla.br/infocomp/artigos/v4.3/art07.pdf>, acessado em 03 de setembro de 2008.

BACKES, Andre R. et al, **Análise da complexidade de texturas em imagens urbanas utilizando dimensão fractal**, In.: IX Brazilian Symposium on GeoInformatics, Campos do Jordão, Brazil, November 25-28, 2007, INPE, p. 215-220.

BABADAGLI, T., Fractal Analysis of 2-D fracture networks of geothermal reservoirs in South-Western Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research v. 112 p. 83 – 103, 2001.



BID, Banco Interamericano de Desenvolvimento, **BID aprova US\$ 32,67 milhões para melhorar a qualidade ambiental do município de Joinville, estado de Santa Catarina, no Brasil,** disponível na URL: <http://www.iadb.org/news/detail.cfm?language=Portuguese&id=4113>, acessado em 02 de novembro de 2008, 2008.

BLASCHKE, Thomas, et al, Object-Oriented Image Processing in an Integrated GIS/Remote Sensing Environment and Perspectives for Environmental Applications, pp 555 a 570, Proceedings of the 16th Conference “Informatics for Environmental Protection” Sept. 25-27, 2002, Vienna, Austria.

BOOTH, Derek B., **Urbanization and the natural drainage system – impacts, solutions and prognoses**, In.: The Northwest Environmental Journal, volume 7, pp. 93 a 118, University of Washington, Seattle, Washington, 1991, disponível na URL:// [http://www.landsinfo.org/ecosystem\\_defense/science\\_documents/Booth\\_1991.pdf](http://www.landsinfo.org/ecosystem_defense/science_documents/Booth_1991.pdf), acessado em 25/08/2008, 2008.

BRANDALIZE, Maria Cecília Bonato. **A qualidade cartográfica dos resultados do laserscanner aerotransportado**. Florianópolis, SC, 2004. 1 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BRIGGS, J. **Fractals: The Patterns of Chaos**. New York: Touchstone, 1992.

CALMON, Ana Teresa, ET AL, **Tecnologia de Mapeamento Digital a Laser e suas Aplicações em Hidrologia Urbana**, XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Disponível em: [http://www.lactec.org.br/OInstituto/downloads/Biblioteca/2003/051\\_2003.pdf](http://www.lactec.org.br/OInstituto/downloads/Biblioteca/2003/051_2003.pdf), acessado em 21/11/2008.



CASANOVA, Marco Antonio. **Banco de dados geográficos**. Mundo Geo, 506 p, Curitiba, 2005.

CARPANEZZI, A.A. **Benefícios Indiretos da Floresta**. In: Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais. GALVÃO, A.P.M. (org.) Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2000. p. 19-55.

CCRS, Canda Centre of Remote Sensing, **Glossary of Remote Sensing Terms**, disponível na URL [http://ccrs.nrcan.gc.ca/glossary/index\\_e.php?id=486](http://ccrs.nrcan.gc.ca/glossary/index_e.php?id=486), acessado em 23 de junho de 2008, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Análise Fractal e Multifractal de Estações Chuvosas em Localidades do Estado de São Paulo. São Paulo, 1997. 263f. Tese de Doutorado - UNESP, Rio Claro.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H.; CHRISTOFOLETTI, A. O Uso dos Fractais na Análise Geográfica. Geografia. Rio Claro-SP, v. 19, p. 79-112, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher LTDA. 2002.

CHORLEY, Richard; HAGGETT, Peter. **Modelos, paradigmas e a nova geografia**. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos/USP, 1975. p.1-22.

DAL SANTO, Mariane Alves, **Generalização Cartográfica Automatizada para um Banco de Dados Cadastral**, Tese (doutorado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007

Defesa Civil de Santa Catarina, Enchentes 2008 – Desastre em Santa Catarina, disponível em: <http://www.desastre.sc.gov.br/>, acessado em 03/12/2008.



DW-Wolrd, Temporal assola norte alemão e causa enchentes, **DEUTSCHE WELLE**, disponível em: <http://www.dw-world.de/dw/article/0,2144,2897822,00.html>, acessado em 03/12/2008.

ESTADAO, Enchentes matam três no sudoeste da Alemanha, **Estadao.com.br**, Disponível em: [http://www.estadao.com.br/internacional/not\\_int183154,0.htm](http://www.estadao.com.br/internacional/not_int183154,0.htm), acessado em 03/12/2008.

FAO, **Fisheries Glossary**, disponível em <http://www.fao.org/fi/glossary/default.asp>, acessado em 04/06/2008.

FATMA, Fundação do Meio Ambiente, Programas de Proteção e Recuperação Ambiental. Disponível em: [http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=73&Itemid=151](http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=73&Itemid=151) acessado em: 27 de outubro de 2009.

FILHO, C. de O. A. et al, Compatibilidade da rede de drenagem obtida através de dados SRTM, ASTER e carta topográfica DSG: estudo de caso no Pantanal de Aquidauana, In: Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.51-61.

GAO, J.; XIA, Z. G. **Fractals in physical geography**. Progress in Physical Geography. USA, v. 20, n. 2, p. 178-191, 1996.

GHOSH, Jayanta Kumar, SOMVANSHI Ankur, MITTAL, R. C. **Fractal feature for classification of hyperspectral images of Moffit Field, USA**, Current Science Magazine, vol. 94, N. 3, 10 February 2008.



GOMES, M. H. R. **Análise Fractal de Redes de Canais de Bacias hidrográficas na Escala 1:50.000**. São Paulo, 1997.83f. Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia de São Carlos. USP.

GOUVEIA, Luis, **A necessidade de capacitar conhecimento para o território**. Revista e-ciência, T-Media. 19 de Outubro, pp 13-14, 2006

HARDY, Paul & LEE, Dan, **GIS-Based Generalization and Multiple Representation of Spatial Data**, in Proceedings, ISGI 2005, International Symposium on Generalization of Information, Berlin, Alemanha, 2005.

IBGE, **Contagem da População 2007**, disponível na URL://[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/defaulttab\\_indicado\\_res.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/defaulttab_indicado_res.shtm), acessado em 27/01/2011.

IBGE, **Mapoteca Topográfica Digital: documentação geral: versão 3.0**, IBGE, Diretoria de geociências, Departamento de cartografia – Rio de janeiro, 1997.

RODRIGUEZ-ITURBE, Ignacio & INACIO, Andrea, **Fractal River Basins – Chance and Self-Organization**, 2001, University of Cambridge, USA, 547pg., 2001.

INSTITUTO RA-BUGIO, [http://www.ra-bugio.org.br/mataatlantica\\_05.php](http://www.ra-bugio.org.br/mataatlantica_05.php) acessado dia 29 de janeiro de 2008.

JOÃO, Maria Elsa, **Causes and Consequences of Map Generalization**, In.; London School of Economics, Ed. Taylor & Francis Ltda., London, 265p., 1998.

JULIÃO, Rui Pedro, **O Mapa de Portugal: Estado, Território e Poder no Portugal de Oitocentos**, Ed. Livros Horizonte e Instituto Geográfico Português, 2003.



KARNAUKHOVA, Eugenia, **Proposta de cartografia geoecológica aplicada ao planejamento territorial**. 2003, 514 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

KOBIYAMA, M; BUENO JUNIOR, J. Multifractal Characteristics of Drainage Network of Marumbi River Watershed, Paraná State. In: XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA- 2002, Salvador/BA. Anais ... Salvador/BA, 2002.

KOJIMA Naoko, LABA Magdeline, LIENDO X. M. Velez, BRADLEY Andrew V., MILLINGTON Andrew C., BAVEYE Philippe, **Causes of the apparent scale independence of fractal indices associated with forest fragmentation in Bolivia**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 61, p. 84-94, Ed. Elsevier, 2006.

LAN, Chun-Hsiung, LAN, Kuo-Torng, HSUI, Che-Yu, **Application of fractals: create an artificial habitat with several small (SS) strategy in marine environment**, Ecological Engineering Magazine, vol 32, p44 a 51, Ed. Elsevier B. V., 2007.

LIU, William Tse Horng, **Aplicações de sensoriamento remoto**, Campo Grande, Ed.: UNIDREP, 908p, 2006.

Loch, Carlos & Krambeck, Christian, **A importância da cartografia na etapa de leitura da realidade local de planos diretores – o caso de Papanduva, Santa Catarina**, XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, Brasil, 21 a 24 de outubro de 2007.

LOCH, Carlos & ERBA, Diego Alfonso, **Cadastro técnico multifinalitário: rural e urbano**, Ed.: Cambridge MA, Lincoln Institute of Land Policy, 142p, Cambridge, USA, 2007.



LOPES, C. de O.; PAULA, G. A. de; VIEIRA, A. C. **Fractality of the drainage structure of the Rio de Janeiro city**. Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra, v. 21, n. 2, 2002 p. 23-27.

MALANO, Hector M., VAN HOFWEGEN, Paul J. M., **Management of Irrigation and Drainage Systems – A Service Approach**, Editora A.A.Balchema/Rotterdam/Brookfield, 1999, 145 p., Rotterdam/Netherlands, 1999.

MANDELBROT, B. B. **Fractals: Form, Chance and Dimension**, Freeman and Company. New York, 1977.

MANDELBROT, B. B. **The Fractal Geometry of Nature**. Rev. ed. of: Fractals, 1977. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 2006. 468p.

MICROBERTS, Ronald E., TOMPPA, Erkki O., **Remote sensing support for national forest inventories**, Remote Sensing of Environment, vol. 110, p 412 a 419, Elsevier Editor, 2007.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 1 nov. 2009.

MMA, Ministério do Meio Ambiente, **Política Nacional do Meio Ambiente – Lei 6938 de 31 de agosto de 1981**, disponível na URL <http://www.mma.gov.br/>, acessado em 05/01/2008.

NACIONAL LAND SURVEY OF FINLAND, **Cadastre**, disponível na URL: <http://www.maanmittauslaitos.fi/en/default.asp?id=479>, acessado em 12/08/2008, 2008.



NASA, Shuttle Radar Topography Mission, disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataprod.htm>, acessado em: 21 / 08 / 2010.

PACHEPSKY, Y. A., RITCHIE, J.C., GIMENEZ, D., **Fractal Modeling of Airbone Laser Altimetry Data**, Remote Sensing of Environment, v. 61:150-161. Ed. Elsevier, NY/ New York, 1997.

PENIDO, Andrea Sundfeld, et al, **Monitoramento Ambiental de Bacias Hidrográficas Urbanizadas com Suporte das Geotecnologias**, in Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4135-4143., 2007

PESCI, A. et al, Digital Elevation Models for landslide evolution monitoring: application on two areas located in the Reno River Valley (Italy), Geophysics vol. 47, N.4, August, 2004.

PING, Yang, XINMING, Tang, SHENGXIAO, Wang, **Dynamic Cartographic Representation Of Spatio-Temporal Data**, ISPRS Congress, Beijjin 2008. Disponível em: [http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/2\\_pdf/1\\_WG-II-1/02.pdf](http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/2_pdf/1_WG-II-1/02.pdf), acessado em 03/11/2008.

QUINN, Niguel W. T., et al, An integrated modeling system for environmental impact analysis of climate variability and extreme weather events in the San Joaquin Basin, California, Advances in Environmental Research vol. 5, 2001 pp 309 a 317, 2001.

RIBEIRO, Malu, **Mata Atlântica e Serviços Ambientais - Restauração Florestal para Gestão da Água**, Fundação SOS Mata Atlântica, disponível na URL:// [http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/C3299F6546738333832574CF004D44E2/\\$File/apresentacao\\_sos\\_mata\\_atlantica.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/C3299F6546738333832574CF004D44E2/$File/apresentacao_sos_mata_atlantica.pdf), acessado em 23/11/2008.



RODRÍGUEZ-ITURBE, Ignácio, RINALDO, Andréa, **Fractal River Basins – Chance and Self-organization**, Cambridge University Press, New York, 547p, 2001.

SANTOS, Rozely Ferreira dos, **Planejamento Ambiental: teoria e prática**, São Paulo/SP, Ed. Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, N. A. P. & MAILLARD, P., Uso do sensoriamento remoto e de um sistema de informação geográfica na modelagem da poluição difusa na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, in Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2551-2553, 2005.

SANTILLI, Juliana, **Aspectos Jurídicos da Política Nacional dos Recursos Hídricos**, disponível na URL:// [http://www.estig.ipbeja.pt/~ac\\_direito/Santilli.pdf](http://www.estig.ipbeja.pt/~ac_direito/Santilli.pdf), acessado em 13/08/2008, 19p., Brasília – DF, 2008.

SAYÃO, Luís Fernando, **Modelos teóricos em ciência da informação – abstração e método científico**, Artigo publicado na Revista Ciência da Informação, vol 30, Brasília, DF, 2001.

SERRA, C. P.; KARAS. W. E. **Fractais Gerados por Sistemas Dinâmicos Complexos**. Champagnat, Curitiba, 1997. 190p.

SEIFFERT, Nelson Frederico, **Uma contribuição ao processo de otimização do uso dos recursos ambientais em microbacias hidrográficas**, Tese de doutorado apresentada à UFSC, 253p., 1996.

SECTMA & AESA, **Gestão dos Recursos Hídricos no Estado da Paraíba**, Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente - SECTMA, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA, disponível na URL:// <http://www.aesa.pb.gov.br/gestao/Gestao%20de%20Recursos%20Hidricos.pdf>, acessado em 18/08/2008, 2007.



SILVA, Everton da, LOCH, Carlos, **Cadastro Técnico: Conceção e apoio a análises espaciais**. In.: Sistemas de Información Geográfica Aplicados a Estudios Urbanos – Experiências Latinoamericanas – asentamientos informales, cadastro urbano, segregación, estudios urbanos, planeamiento, riesgos e vulnerabilidades, Editora Lincoln Institute of Land and Policy, pg. 44 a 54, 2006.

SILVEIRA, Nara de Fátima Quadros da, **Análise Fractal de Bacias Hidrográficas de Região de Encosta e Região de Planalto com base em cartas topográficas e fotografias aéreas**, Tese de doutorado apresentada á UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 188p, 2006.

SLOBODA, Luana. **Proposta metodológica para confecção de base cartográfica a partir de dados oriundos do Sistema Laser Scanner**. Florianópolis, 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

STEPINSKI, T. F. et al, **Fractal analysis of drainage basins on Mars**, Geophysical Research Letters, Vol. 29, n<sup>o</sup>. 8, 2002

TARBOTON, D. G.; Bras R. L.; RODRIGUEZ-ITURBE; I. **On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data**. Hydrological Processes. 5: p. 81-100. 1991.

TARBOTON, D. G.; BRAS. R. L.; ITURBE, I. R. **The Fractal Nature of Networks**. Water Resources Research. v. 24, n. 8, p. 1317-1322, 1988.

TEIXEIRA, Ivandi Silva & TEIXEIRA, Regina Cleide Figueiredo, **A importância do Cadastro Técnico Multifinalitário para a eficácia da Gestão Ambiental**, in Anais do COBRAC 1998, CD-ROM, UFSC, de 18 a 22 de outubro, Florianópolis, 1998.



TURCOTTE, D.L. **Fractals and Chaos in Geology and Geophysics**, Cambridge University, 1992.

VARGAS, Rosane Maciel de Araújo, Avaliação dos Dados Laser Scanner para Determinar Modelos de Terreno em Áreas Cobertas por Floresta Ombrófila Densa Alterada na Amazônia, Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 158p, 2007.

VESTENA, L. R., KOBAYAMA, M., **A geometria fractal da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Caeté**, Alfredo Wagner-SC, Rev. Árvore vol.34 no.4 Viçosa July/Aug. 2010.

ZMITROWICZ, Witold, **Planejamento Territorial Urbano**, Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, ISSN 1413-0386, 2002.



## 7. APENDICES

---

TABELA A1: LOG (N) E LOG (d) DA BHRC PARA OS DADOS DA BASE  
CARTOGRÁFICA DE 1978

Fonte: da autora

Tamanho caixa (m) r	Número caixas (N)	log N(r)	log (r)
1000	128	2,10721	3,0000
500	386	2,58659	2,6990
250	841	2,92480	2,3979
100	2225	3,34733	2,0000
50	4555	3,65849	1,6990

TABELA A2: LOG (N) E LOG (d) DAS SUB-BACIAS PARA OS DADOS DA BASE  
CARTOGRÁFICA DE 1978

Fonte: da autora

Sub-bacia do Rio Velho			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	28	1,4472	3,0000
500	73	1,8633	2,6990
250	151	2,1790	2,3979
100	403	2,6053	2,0000
50	829	2,9186	1,6990
Sub-bacia do Rio Itaum			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	37	1,5682	3,0000
500	113	2,0531	2,6990
250	260	2,4150	2,3979
100	683	2,8344	2,0000



50	1395	3,1446	1,6990
Sub-Bacia do Rio Bucareim			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	24	1,3802	3,0000
500	65	1,8129	2,6990
250	155	2,1903	2,3979
100	394	2,5955	2,0000
50	806	2,9063	1,6990
Sub-bacia do Rio Cachoeira			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	37	1,5682	3,0000
500	97	1,9868	2,6990
250	218	2,3385	2,3979
100	558	2,7466	2,0000
50	1138	3,0561	1,6990
Sub-bacia Boa Vista			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	17	1,2304	3,0000
500	38	1,5798	2,6990
250	74	1,8692	2,3979
100	201	2,3032	2,0000
50	403	2,6053	1,6990

TABELA A3: LOG (N) E LOG (d) DA BHRC PARA OS DADOS DA BASE  
CARTOGRÁFICA DE 2007

Fonte: da autora

Tamanho caixa (m)	Número caixas (N)	log N(r)	log (r)
1000	136	2,13354	3,0000
500	423	2,62634	2,6990
250	1088	3,03663	2,3979



100	3100	3,49136	2,0000
50	6663	3,82367	1,6990

TABELA A4: LOG (N) E LOG (d) DAS SUB-BACIAS PARA OS DADOS DA BASE  
CARTOGRÁFICA DE 2007

Fonte: da autora

Sub-bacia do Rio Velho			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	30	1,47712	3,0000
500	91	1,95904	2,6990
250	244	2,38739	2,3979
100	825	2,91645	2,0000
50	1932	3,28601	1,6990
Sub-bacia do Rio Itaum			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	40	1,60206	3,0000
500	114	2,05690	2,6990
250	311	2,49276	2,3979
100	871	2,94002	2,0000
50	1817	3,25935	1,6990
Sub-Bacia do Rio Bucareim			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	31	1,49136	3,0000
500	85	1,92942	2,6990
250	199	2,29885	2,3979
100	485	2,68574	2,0000
50	983	2,99255	1,6990
Sub-bacia do Rio Cachoeira			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	46	1,66276	3,0000
500	121	2,08279	2,6990
250	272	2,43457	2,3979
100	662	2,82086	2,0000



50	1278	3,10653	1,6990
Sub-bacia Boa Vista			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	15	1,17609	3,0000
500	38	1,57978	2,6990
250	92	1,96379	2,3979
100	292	2,46538	2,0000
50	691	2,83948	1,6990

TABELA A5: LOG (N) E LOG (d) DA BHRC PARA OS DADOS LASERSCANNING 10.000

Fonte: da autora

Tamanho Grid (m) r	Número caixas (N)	log N(r)	log (r)
1000	81	1,90849	3,0000
500	208	2,31806	2,6990
250	450	2,65321	2,3979
100	1224	3,08778	2,0000
50	2488	3,39585	1,6990

TABELA A6: LOG (N) E LOG (d) DAS SUB-BACIAS PARA OS DADOS DA BASE CARTOGRÁFICA DE 2007

Fonte: da autora

Sub-bacia do Rio Velho			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	30	1,47712	3,0000
500	91	1,95904	2,6990
250	244	2,38739	2,3979
100	825	2,91645	2,0000
50	1932	3,28601	1,6990
Sub-bacia do Rio Itaum			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	40	1,60206	3,0000
500	114	2,05690	2,6990
250	311	2,49276	2,3979



100	871	2,94002	2,0000
50	1817	3,25935	1,6990
Sub-Bacia do Rio Bucareim			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	31	1,49136	3,0000
500	85	1,92942	2,6990
250	199	2,29885	2,3979
100	485	2,68574	2,0000
50	983	2,99255	1,6990
Sub-bacia do Rio Cachoeira			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	46	1,66276	3,0000
500	121	2,08279	2,6990
250	272	2,43457	2,3979
100	662	2,82086	2,0000
50	1278	3,10653	1,6990
Sub-bacia Boa Vista			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	15	1,17609	3,0000
500	38	1,57978	2,6990
250	92	1,96379	2,3979
100	292	2,46538	2,0000
50	691	2,83948	1,6990

TABELA A7: LOG (N) E LOG (d) DAS SUB-BACIAS PARA O LASERSCANNING 10.000  
Fonte: da autora

Sub-bacia do Rio Itaum			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	26	1,41497	3,0000
500	61	1,78533	2,6990
250	134	2,12710	2,3979



100	344	2,53656	2,0000
50	686	2,83632	1,6990
Sub-Bacia do Rio Bucareim			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	24	1,38021	3,0000
500	64	1,80618	2,6990
250	135	2,13033	2,3979
100	365	2,56229	2,0000
50	755	2,87795	1,6990
Sub-bacia do Rio Cachoeira			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	24	1,38021	3,0000
500	59	1,77085	2,6990
250	127	2,10380	2,3979
100	359	2,55509	2,0000
50	733	2,86510	1,6990
Sub-bacia Boa Vista			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	13	1,11394	3,0000
500	29	1,46240	2,6990
250	60	1,77815	2,3979
100	161	2,20683	2,0000
50	320	2,50515	1,6990

TABELA A8: LOG (N) E LOG (d) DA BHRC PARA OS DADOS DO LASERSCANNING 5.0000

Fonte: da autora

Tamanho caixa (m) r	Número caixas (N)	log N(r)	log (r)
1000	85	1,92942	3,0000
500	265	2,42325	2,6990
250	636	2,80346	2,3979



100	1799	3,25503	2,0000
50	3718	3,57031	1,6990

TABELA A9: LOG (N) E LOG (d) DAS SUB-BACIAS PARA O LASERSCANNING 5.000

Fonte: da autora

Sub-bacia do Rio Itaum			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	40	1,60206	3,0000
500	114	2,05690	2,6990
250	311	2,49276	2,3979
100	871	2,94002	2,0000
50	1817	3,25935	1,6990
Sub-Bacia do Rio Bucareim			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	29	1,46240	3,0000
500	76	1,88081	2,6990
250	185	2,26717	2,3979
100	516	2,71265	2,0000
50	1077	3,03222	1,6990
Sub-bacia do Rio Cachoeira			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	46	1,66276	3,0000
500	121	2,08279	2,6990
250	272	2,43457	2,3979
100	662	2,82086	2,0000
50	1278	3,10653	1,6990
Sub-bacia Boa Vista			
Tamanho caixa (m) - r	No caixas (N)	Log N(r)	Log (r)
1000	15	1,17609	3,0000
500	33	1,51851	2,6990
250	81	1,90849	2,3979
100	234	2,36922	2,0000



50	489	2,68931	1,6990
----	-----	---------	--------