

# GEOMETRIA NA JUNÇÃO FLUVIAL: ESTUDO DE CASO DAS BACIAS DO RIO NEGRINHO E RIO CUNHA, SANTA CATARINA

Masato Kobiyama<sup>1</sup>, Nadine Lory Bortolotto<sup>2</sup>, Taiana Gava<sup>3</sup>, Chélsa Eichholz Marchi<sup>4</sup>

## RESUMO

A ocupação intensificada nas margens dos rios nas últimas décadas tem causado os desastres naturais e aumentando problemas sócio-ambientais. Evidencia-se que a geomorfologia fluvial aplicada ao estudo das junções dos rios colabora para o adequado manejo dos mesmos, assim como para a caracterização morfológica de bacias hidrográficas, para a avaliação do comportamento hidrossedimentológico nas junções, para a estabilidade de encostas, para a revitalização de rios, entre outros aspectos. O presente trabalho propõe um procedimento de medição do ângulo de junção e declividade da junção em duas bacias hidrográficas localizadas no Estado de Santa Catarina. Observou-se que com o aumento da ordem do rio principal houve um aumento do ângulo médio da junção e que os valores médios dos ângulos tenderam a diminuir com o acréscimo das declividades nas junções dos rios.

**Palavras-chave:** Ângulo de junção; declividade de junção, ordem fluvial, morfometria.

## ABSTRACT

An intensified occupation of riversides during the last decades has caused natural disasters and increased socio-environmental problems. It is evident that the fluvial geomorphology applied to the study of river junctions collaborates to a suitable management of the rivers, as well as to the morphological characterization of the watersheds, to the evaluation of water and sediments behaviors at junctions, to the slope stability, to the river rehabilitation, and so on. The present study proposes a procedure for measuring the angle of junction and the junction slope by analyzing two watersheds located in the State of Santa Catarina. The results show that the higher order of the main river, the larger the mean angle of junction became and that the mean values of the angles had a tendency to decrease with the increase of the junction slope.

**Keywords:** Angle of junction; junction slope; stream order; morphometry.

## INTRODUÇÃO

A água é uma das substâncias mais importantes do Planeta Terra, pois dela depende a maioria dos processos físicos, químicos e biológicos nos ecossistemas. Na história da humanidade a água sempre foi determinante para a sua evolução. Registros mostram que as grandes civilizações se desenvolveram às margens de rios (Tigre e Eufrates na Mesopotâmia,

---

<sup>1</sup> Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Bolsista CNPq – kobiyama@ens.ufsc.br

<sup>2</sup> Acadêmica no curso de graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Bolsista CNPq – nadi@ens.ufsc.br

<sup>3</sup> Acadêmica no curso de graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Bolsista da UFSC – taianagava@hotmail.com

<sup>4</sup> Acadêmica no curso de graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Bolsista PIBIC/CNPq – chelseaem@yahoo.com.br

Nilo no Egito, Indus na Índia, e Amarelo na China) de onde garantiam o abastecimento de água e, conseqüentemente, seu desenvolvimento socioeconômico.

A intensificação da ocupação nas margens dos rios nas últimas décadas tem causado problemas socioeconômicos e vem contribuindo para os processos de desastres naturais. A sociedade anseia por obras (ou medidas estruturais) para resolver ou mitigar esses problemas, buscando técnicas desenvolvidas na engenharia fluvial. Pode-se dizer que o desenvolvimento do ser humano depende do manejo adequado dos rios, tornando cada vez mais evidente a importante contribuição da geomorfologia fluvial para a engenharia fluvial atuar de forma mais apropriada e eficiente.

Gilvear (1999) demonstrou os principais aspectos da geomorfologia fluvial com direta relevância para engenharia fluvial, dentre os quais se encontra a eco-geomorfologia. DeBarry (2004) também enfatizou a importante contribuição da geomorfologia fluvial na restauração dos rios.

Embora a geomorfologia fluvial trate de diversos aspectos que os rios possuem, a morfologia pode ser considerada um dos principais objetos da mesma. A morfologia fluvial analisa a tipologia da rede fluvial e contribui para estudos de evolução das bacias (Knighton, 1998). Best (1986) apresentou uma revisão da morfologia das confluências fluviais, demonstrando a importância das mesmas na formação da rede fluvial.

Segundo Roy (1983), o ângulo de junção é um componente morfométrico básico da rede fluvial. Por isso, existem diversos estudos sobre o assunto. Howard (1971) relatou que, embora Playfair (1802) já reconhecia a tendência do valor do ângulo, Horton (1932) foi o primeiro que explicou quantitativamente este valor. Lubowe (1964) demonstrou o aumento do ângulo médio das junções com aumento da ordem do rio principal. Howard (1971) apontou valores de ângulos ótimos da junção na estabilidade da mesma. Schumm (1956) mostrou que o ângulo de junção se altera durante a evolução da paisagem. Segundo Sólyom & Tucker (2007) que realizaram estudos numéricos da evolução de bacias, o ângulo de junção aumenta com a área de contribuição (bacia). Realizando uma revisão de estudos sobre ângulos de junção, Morisawa (1985) apontou a falta de padronização dos métodos de medição dos ângulos.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe um procedimento de medição do ângulo de junção e declividade da junção. Esses procedimentos foram aplicados para duas bacias hidrográficas e discutiu-se aspectos como, características do ângulo de junção, a relação entre ângulo e declividade e entre ângulo e ordem de rios, a fim de verificar qual possui maior influência (declividade ou ordem) na angulação das junções. Esse trabalho poderá ser

utilizado para estudos de morfometria de bacias hidrográficas, comportamentos de água e sedimentos nas junções, estabilidade de encostas fluviais, revitalização de rios, entre outros.

## METODOLOGIA

**Área de estudo** – A área de estudo do presente trabalho compreende duas bacias hidrográficas situadas no Estado de Santa Catarina, a do Rio Negrinho e a do Rio Cunha (Fig.1; Tab.1). A bacia hidrográfica do Rio Negrinho abrange os municípios de Rio Negrinho e São Bento do Sul, situados no planalto norte do Estado. Está localizada entre as longitudes 49°20'W e 49°31'W e latitudes 26°15'S e 26°25'S. As nascentes do rio situam-se acima de 800 m de altitude. O relevo é suave, com superfície regular, quase plana.

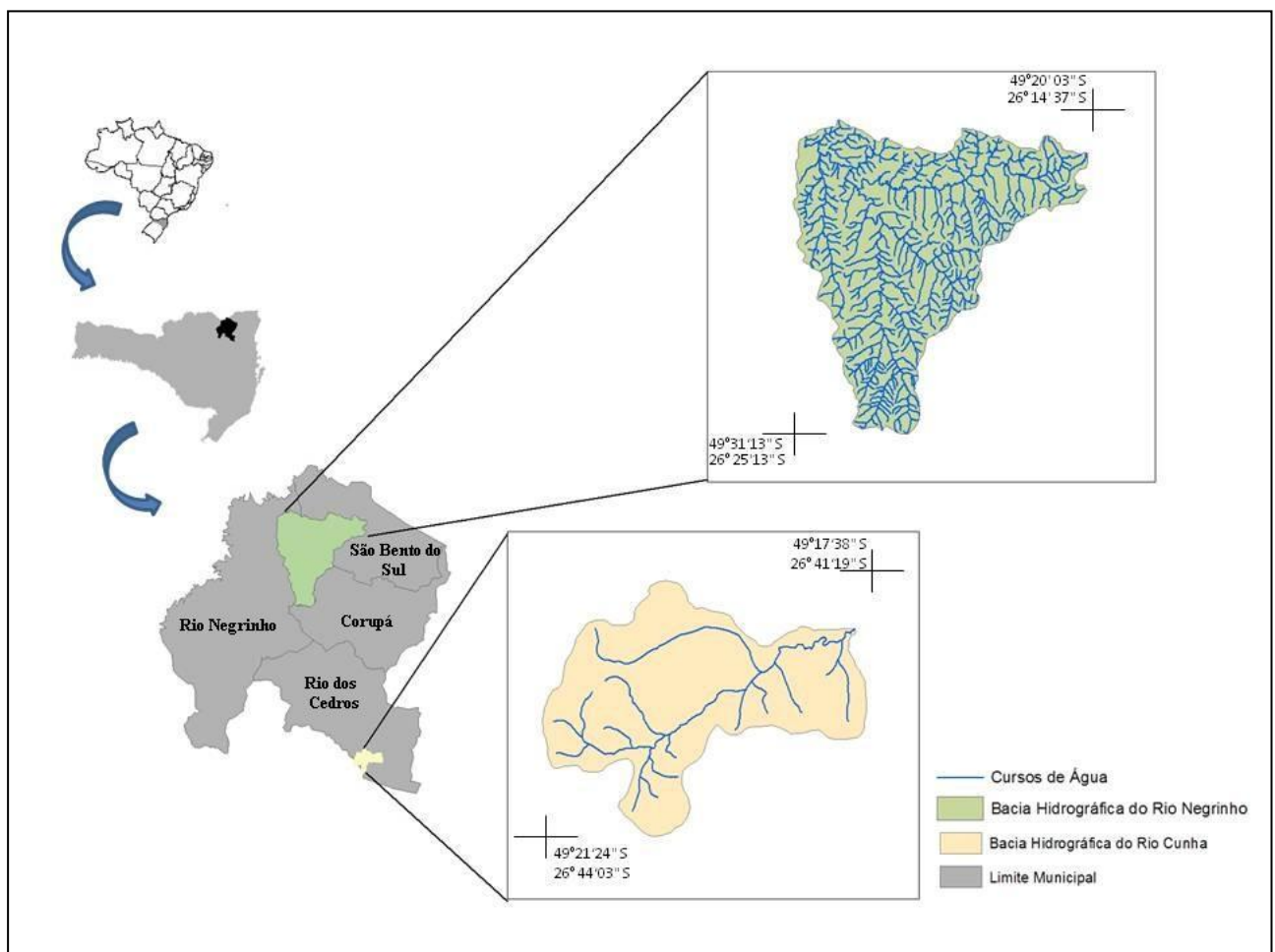


Figura 1 - Localização das bacias de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Cunha está totalmente inserida no município de Rio dos Cedros (Fig.1), e faz parte do Médio Vale do Itajaí. Está localizada entre as longitudes 49°17'W e 49°21'W e latitudes 26°41'S e 26°44'S. As nascentes do Rio Cunha estão acima

de 500 m de altitude. Recentemente nesta bacia, houve a ocorrência de fluxos de escombros (Goerl et al., 2009).

Tabela 1 - Características das bacias de estudo.

Bacia	Rio Negrinho	Rio Cunha
Área	195 km <sup>2</sup>	16,3 km <sup>2</sup>
Máxima ordem	5 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
Densidade de drenagem	2,44 km <sup>-1</sup>	1,50 km <sup>-1</sup>
Solo	Em quase toda a extensão da bacia predominam os CAMBISSOLOS e, uma pequena porção, localizada nas nascentes da parte Oeste da bacia, ocorre os GLEISSOLOS.	As encostas da bacia são íngremes e os vales profundos com a predominância de CAMBISSOLOS e ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS.
Rocha	Arenito e folhelho	Migmatito

**Procedimentos de análise** – O ângulo de junção dos rios ( $\alpha$ ) é o ângulo formado pelas projeções horizontais no encontro entre eles. A declividade representa o ângulo formado da razão entre a diferença das cotas topográficas e o comprimento do curso de água considerado, conforme demonstrado na Fig. 2. Os ângulos das junções dos rios foram medidos nas cartas topográficas digitais em escala 1:50.000, na projeção UTM (Fuso 22), *data* Imbituba - SC e SAD 69, disponibilizadas pelo CIRAM/EPAGRI (2009). A ordem fluvial foi determinada a partir da hierarquização de Strahler (1952) e correlacionada com os valores obtidos dos ângulos nas junções.

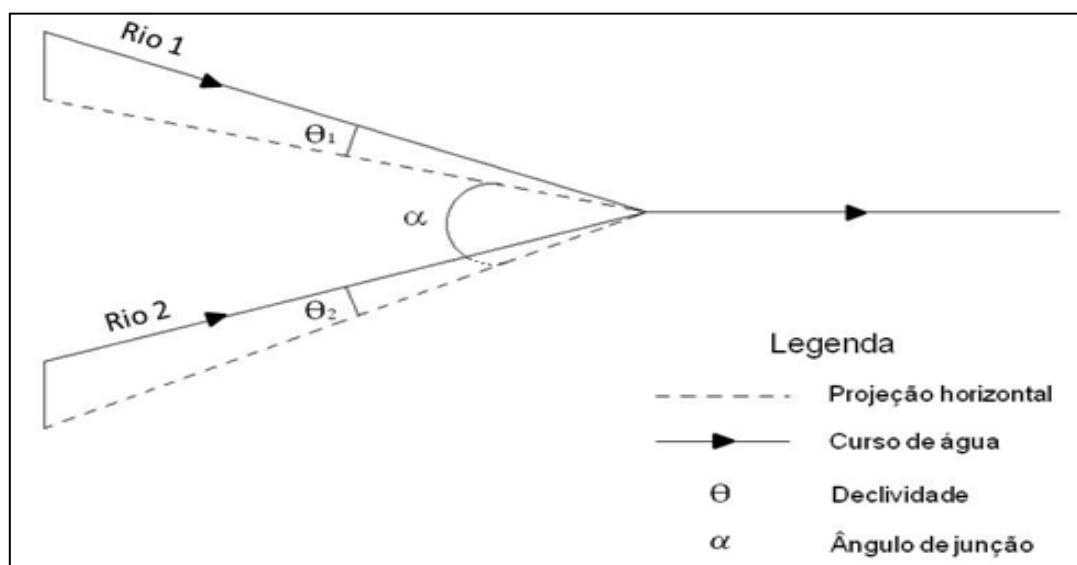


Figura 2 - Determinação do ângulo e declividade da junção.

Para a determinação das declividades dos cursos de água das bacias foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE), a partir das curvas de nível das cartas topográficas. O MDE tem resolução de células de 30 m e foi obtido pelo método de interpolação de redes triangulares irregulares TIN (Triangular Irregular Network), através do ArcGIS 9.3.1.

Definiu-se a medida da declividade ( $\theta$ ) nas junções dos rios como sendo a média entre as declividades de cada segmento que forma a junção, obtendo-se para cada ângulo um valor de declividade, ou seja,  $\theta = (\theta_1 + \theta_2)/2$ . Em locais onde não foi possível obter a medida da declividade, devido ao segmento de rio estar na mesma cota topográfica, realizou-se a soma dos comprimentos dos cursos de água até a próxima mudança de cota para o cálculo da mesma.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tab. 2 são apresentados os números totais de junções ( $n$ ) para cada ordem de rio na bacia do Rio Negrinho. Os logaritmos dos valores totais de junções com ordem  $n$  são inversamente proporcionais aos valores de  $n$ , ou seja, quanto maior a ordem dos segmentos de rios, menor a quantidade de rios desta ordem (Fig. 3).

Tabela 2 - Números de junções em relação às ordens dos rios na bacia do Rio Negrinho.

Ordem	1	2	3	4	5	Total
1	73	124	73	24	14	308
2	124	18	19	11	8	180
3	73	19	3	6	5	106
4	24	11	6	1	1	43
5	14	8	5	1	-	28

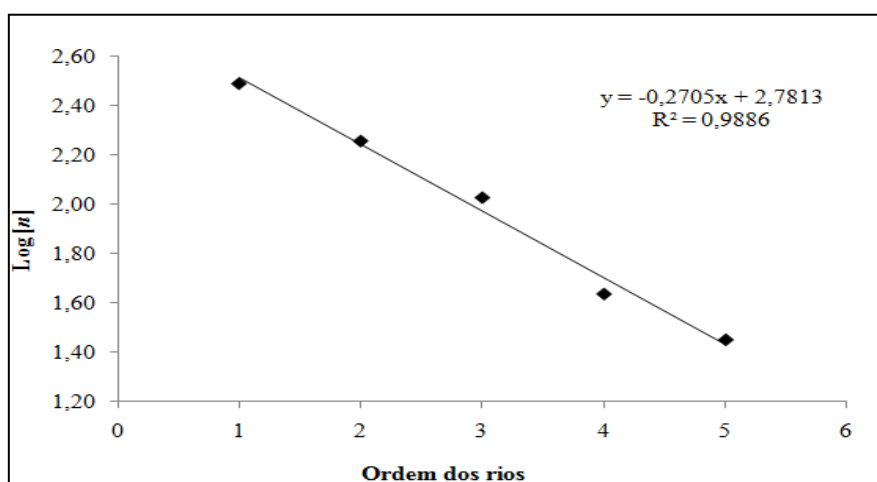


Figura 3 – Relação entre a ordem do rio e número total de junções.

O ângulo médio das junções (em graus) em relação à ordem dos rios é apresentado em detalhes na Tab. 3. No estudo utilizou-se a média ponderada destes ângulos, uma vez que a quantidade de junções de rios não é constante para toda a bacia do Rio Negrinho. A Fig. 4 mostra o gráfico obtido da relação entre os ângulos médios das ordens dos rios e a média ponderada para os ângulos da bacia. As curvas demonstram ajuste entre si e seguem a relação proposta por Lubowe (1964), que com o aumento da ordem do rio principal verifica-se um aumento do ângulo médio da junção.

Tabela 3 - Ângulo médio das junções em relação à ordem dos rios na bacia do Rio Negrinho.

Ordem	1	2	3	4	5	Média Ponderada
1	61	63	65	77	67	64
2	63	71	72	70	74	66
3	65	72	112	69	86	69
4	77	70	69	94	74	74
5	67	74	86	74	-	73

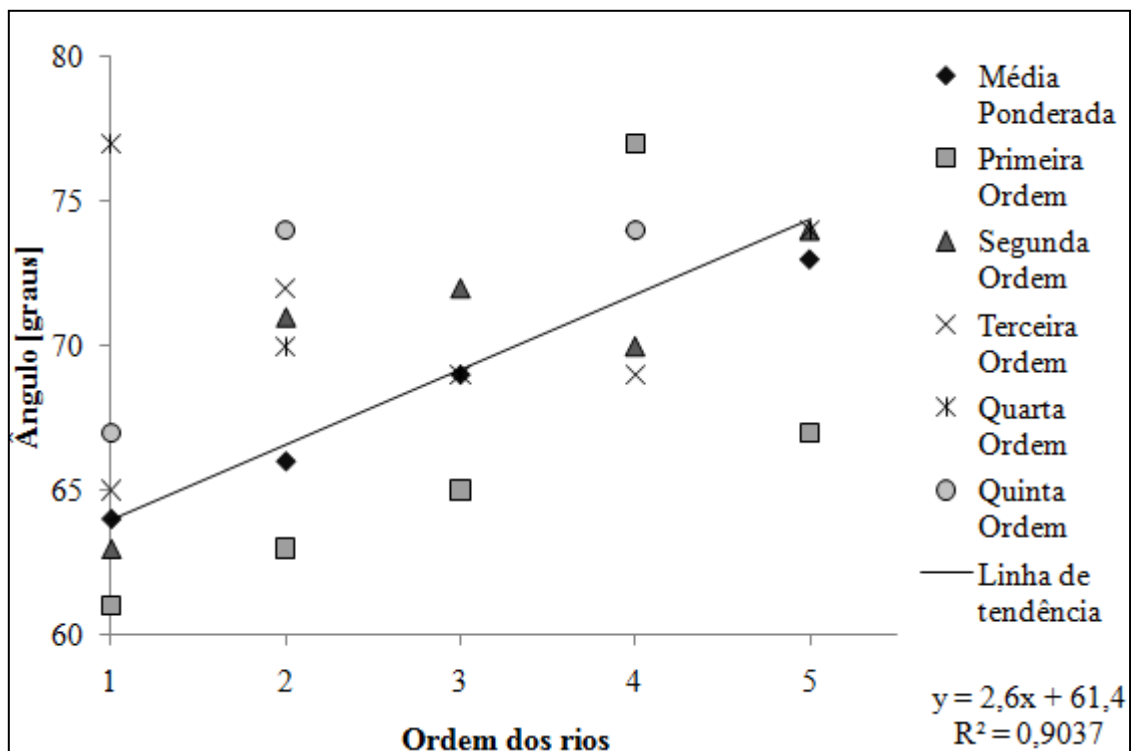


Figura 4 - Relação dos ângulos médios e a média ponderada com a ordem dos rios.

Na Fig. 5 encontra-se que a média dos ângulos das junções na bacia do Rio Negrinho está entre  $60^\circ$  e  $80^\circ$ . Existe uma tendência no aumento das médias destes ângulos em relação

ao aumento da ordem fluvial dos rios (Tab. 4). Isto pode ocorrer devido aos cursos de água de menor ordem estarem situados em regiões de relevo mais acentuado.

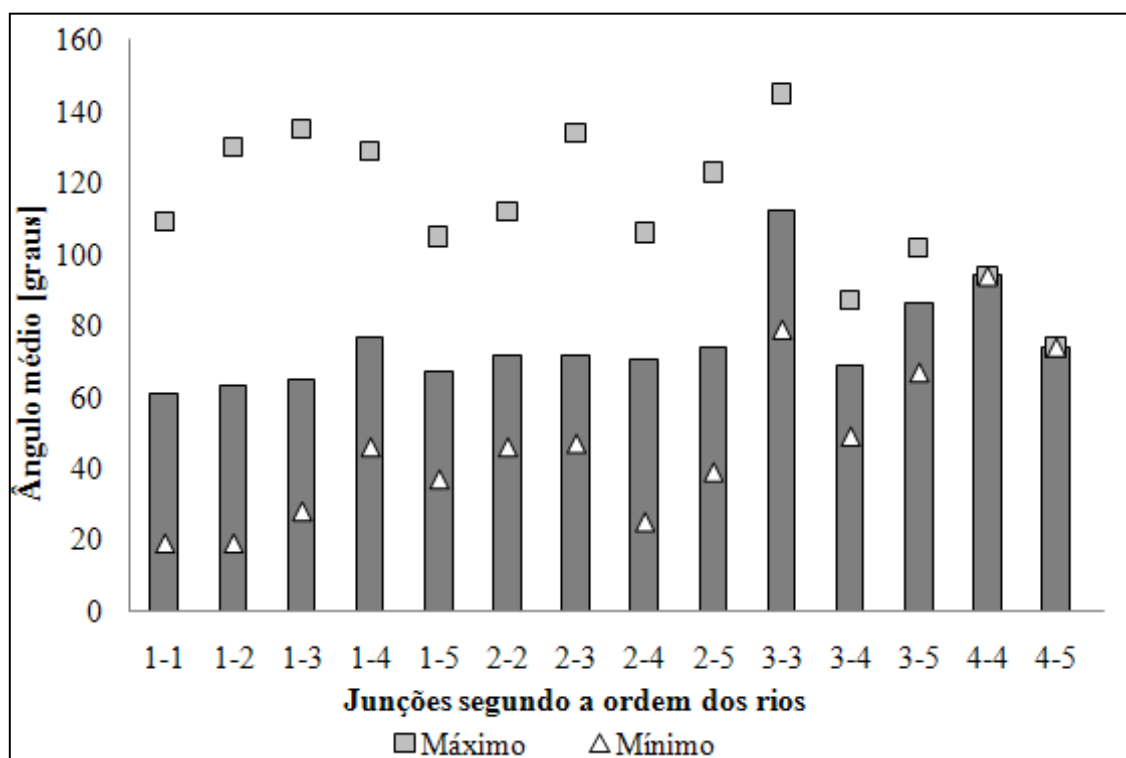


Figura 5 - Ângulos em relação a ordem fluvial da bacia do Rio Negrinho.

Tabela 4 - Ordens fluviais e o ângulo médio (em graus) das junções.

Relação entre ordens fluviais	1ª-[1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª]	2ª-[2ª, 3ª, 4ª, 5ª]	3ª-[3ª, 4ª, 5ª]	4ª-[4ª, 5ª]
Valor médio dos ângulos	66,62	71,92	89,19	84,00

Os gráficos apresentados na Fig. 6 demonstram a frequência dos ângulos das junções de rios de primeira ordem com as demais ordens presentes na bacia de Rio Negrinho. Observa-se que estes ângulos apresentam em média de 50° a 80°, contudo as frequências não seguem uma distribuição normal. Benda et al (2004) relataram que os ângulos das junções indicam certos efeitos morfológicos típicos na confluência, especialmente quando os ângulos são próximos ou maiores que 90°, portanto a discussão para os valores médios dos ângulos maiores nas junções merece maiores investigações.

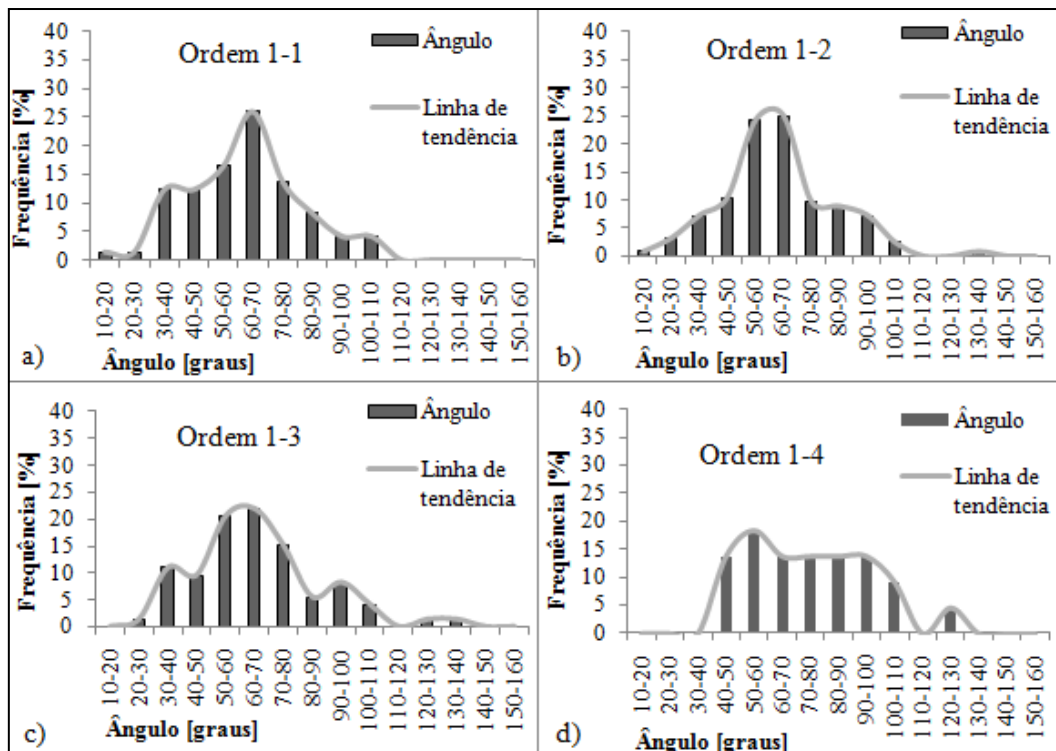


Figura 6 - Gráficos de frequência dos ângulos das junções.

A Fig. 7 relaciona os ângulos médios das junções dos rios e os intervalos de declividades. Verifica-se que, com o acréscimo das declividades nas junções dos rios, os valores médios dos ângulos diminuem como pode ser observado através da linha de tendência. Este comportamento resulta na diminuição da diferença entre os ângulos, devido ao aumento gradativo dos valores mínimos e diminuição dos valores máximos como demonstram as linhas pontilhadas. Não há inferências em relação aos coeficientes de variação devido ao número de medições analisadas não ser contínuo para todos os intervalos de declividade.

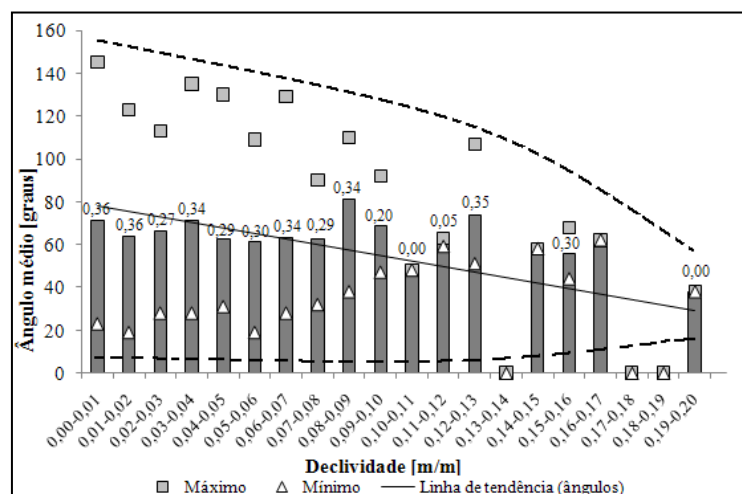


Figura 7 - Gráfico declividade versus ângulos da bacia do Rio Negrinho.



Os ângulos médios obtidos para a bacia do Rio Cunha em relação à hierarquia fluvial estão ilustrados na Fig. 8.

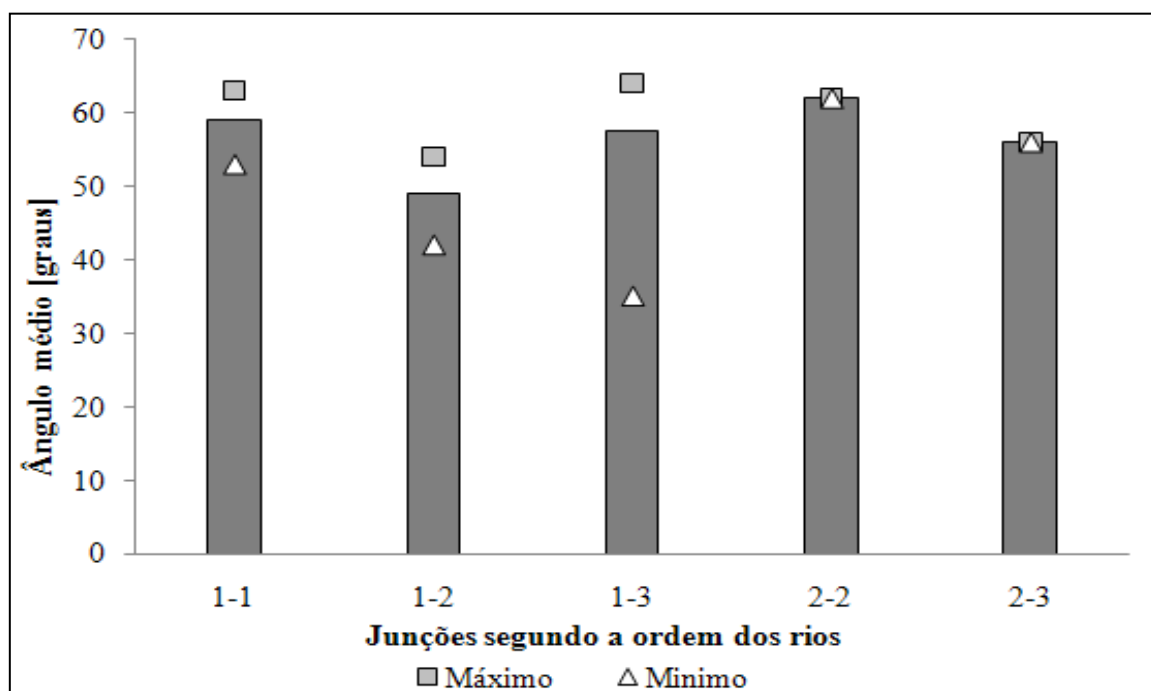


Figura 8 - Ângulos médios em relação a ordem fluvial da bacia do Rio Cunha.

Verifica-se que os ângulos médios estão entre 50° e 65°. No caso da bacia do Rio Cunha que possui o relevo mais acentuado, a tendência de aumento do ângulo da junção, em função do acréscimo da ordem do curso de água, não foi claramente observada como observada na bacia do Rio Negrinho. Isto deve ser devido ao número de dados ser insuficiente para se obter um resultado estatístico satisfatório, ou seja, na escala disponível (1:50.000) para a bacia do Rio Cunha, não foi possível analisar ângulos de junção por ser uma bacia de pequena área.

A variação da declividade nas junções não é suficiente para indicar a diminuição na média dos ângulos para a bacia do Rio Cunha (Fig. 9). Com isso, a comparação entre os resultados obtidos para as bacias em estudo, necessita de mais parâmetros, visto que as características geológicas são diferentes. Além disso, a bacia do Rio Cunha apresenta uma área menor do que a do Rio Negrinho, e o número de medidas dos ângulos de junções é mais restrito. Desta forma, maiores investigações são necessárias para futuras considerações sobre a bacia do Rio Cunha e os ângulos das junções dos rios.

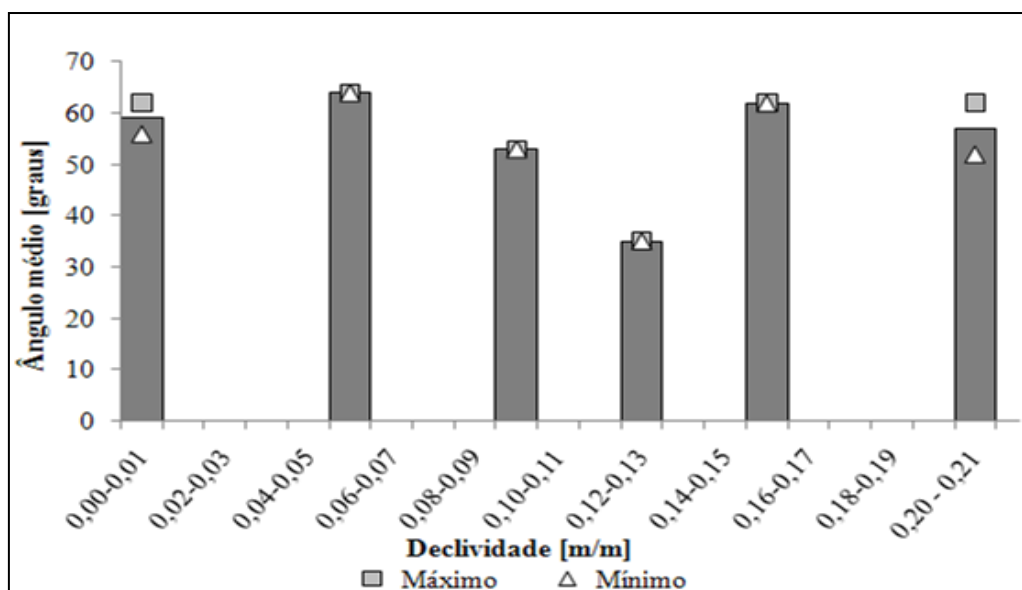


Figura 9 - Declividade versus ângulos da bacia do Rio Cunha.

## CONCLUSÕES

Propondo o procedimento de determinar o ângulo e a declividade de junção fluvial, analisaram-se as bacias do Rio Negrinho e Rio Cunha. Os resultados permitem concluir que: (i) com o aumento da ordem do rio principal houve um aumento do ângulo médio da junção; (ii) com o acréscimo das declividades nas junções dos rios, os valores médios dos ângulos tendem a diminuir para a bacia de Rio Negrinho; e (iii) a ordem dos rios e a declividade nas junções são inversamente proporcionais entre si. A análise da bacia do Rio Cunha não permitiu conclusões representativas devido à falta de dados proporcionada pelo pequeno tamanho da bacia e baixa densidade de drenagem.

Não foi possível verificar qual dos parâmetros (ordem dos rios e declividade) tenha maior influência sobre o ângulo de junção, pois possuem comportamentos diferentes em relação ao ângulo. Entretanto, recomenda-se que este estudo seja aplicado para bacias com densidade de drenagem alta.

## REFERÊNCIAS

BENDA, L., ANDRAS, A., MILLER, D., BIGELOW, P. Confluence effects in rivers: Interactions of basin scale, network geometry, and disturbance regimes. **Water Resour. Res.**, v. 40, 2004.

BEST, J.L. The morphology of river channel confluences. **Prog. Physic Geog.**, v.10, p. 157-174, 1986.

CIRAM/EPAGRI. Mapoteca. Cartas topográficas digitais. Disponível em: <<http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>>. Acesso em: 25 outubro 2009.

DEBARRY, P.A. **Watersheds: processes, assessment, and management**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2004. 700p.

GILVEAR, D.J. Fluvial geomorphology and river engineering: future roles utilizing a fluvial hydrosystems framework. **Geomorphology**, v.31, p.229-245, 1999.

GOERL, R.F.; KOBİYAMA, M.; CORREA, G.P.; ROCHA, H.L.; GIGLIO, J.N. Desastre hidrológico resultante das chuvas intensas em Rio dos Cedros – SC. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, CampoGrande. **Anais**, Campo Grande: ABRH, 2009. CD-rom. 19p.

HORTON, R.E. Drainage-basin characteristics. **Trans. Amer. Geophys. Union**, v.13, p.350-361, 1932.

HOWARD. A.D. Optimal angles of stream junction: Geometric, stability to capture, and minimum power criteria. **Water Resour. Res.**, v.7, p.863- 873, 1971.

KNIGHTON, D. **Fluvial forms & processes: a new perspective**. London: Arnold, 1998. 383p.

LUBOWE, J.K. Stream junction angles in the dendritic drainage pattern. **Amer. J. Sci.**, v.262, p.325–339, 1964.

MORISAWA, M. **Rivers: Form and process**. Harlow: Longman, 1985. 222p. (Geomorphology Texts, 7).

PLAYFAIR, J. **Illustrations of the Huttonian theory of the Earth**. Edinburgh, 1802. 528p.

ROY, A.G. Optimal angular geometry models of river branching. **Geographical Analysis**, v.15, n.2, p.87-96, 1983.

SCHUMM. S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambos, New Jersey. Bull. **Geological Soc. of America**, v.67. 597-646, 1956.

SÓLYOM, P.B.; TUCKER, G.E. The importance of the catchment area–length relationship in governing non-steady state hydrology, optimal junction angles and drainage network pattern. **Geomorphology**, v.88, p.84-108, 2007.

STRAHLER, A.N. Hypsometric (Area-altitude) analysis of erosional topography. Bull. **Geological Soc. of America**, v.63, p.1117-1142, 1952.