

ANÁLISE PRELIMINAR DE PERFIS DE VELOCIDADE EM RIOS DE PEQUENO PORTE: o caso do rio Niquim/Alagoas.

Guilherme Barbosa Lopes Júnior¹ & Roberaldo Carvalho de Souza².

RESUMO --- Os problemas hidrológicos envolvem a necessidade de conhecimento dos aspectos qualitativo e quantitativo de suas águas superficiais. A determinação de parâmetros hidrológicos locais através da medição de vazões líquidas a baixo custo e com metodologias simples assume importante papel nesse processo. Objetivando fornecer subsídios para minimizar os custos na medição de vazão e ampliar o conjunto de informações sobre uma das mais significativas bacias hidrográficas de Alagoas, este trabalho analisa as correlações entre os perfis de velocidades ao longo da seção de medição nas profundidades de 20%, 40%, 60%, 80% e na superfície. Esses dados foram coletados com um molinete fluviométrico em uma seção do rio Niquim/Alagoas localizado a 30 km ao sul da cidade de Maceió.

ABSTRACT --- The hydrologic problems involve the necessity of knowing the quantitative and qualitative aspects of superficial waters. The determination of local hydrologic parameters in measuring the rate of flow of water in open channels is prerequisite for most hydrologic analyses. However, direct measurement of discharge in open channels is time consuming and costly. In order to provide information to minimize this costs and gather information about one of the most important hydrographical basin of Alagoas state, this work analyze the correlations among velocities measured along a section on the depths of 20%, 40%, 60%, 80% and surface. These data were collected using a hydrometric propeller in a section of the Niquim river/Alagoas, located 30 km south of Maceió city.

Palavras-chave: perfis de velocidade, batimetria, correlação.

1) PET de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, UFAL; Av. Mário Nunes Vieira, 149, apto. 502, Mangabeiras, Maceió – AL, 57037-170; e-mail: guilherme.barbosa.lj@gmail.com

2) Professor – Tutor do PET/Engenharia Civil/ CTEC/ UFAL; email: rcsouza@ctec.ufal.br

1 – INTRODUÇÃO

A presença de informações sobre os recursos hídricos disponíveis auxilia na tomada de decisão sobre planos de investimentos, nível de garantia às demandas, programas de racionamento, entre outras operações vitais aos usos múltiplos da água, particularmente ao serviço de abastecimento, Silva e outros (2006). Os usos múltiplos da água, sobretudo os relacionados com o abastecimento, exigem uma série de tomadas de decisões sobre em que é necessário investir, como devem ser administrados os recursos disponíveis, a fim de garantir a demanda requisitada, entre outros serviços vitais para uma sociedade.

Essas tomadas de decisões podem ser auxiliadas pela presença de informações sobre os recursos hídricos disponíveis que possibilitem uma caracterização dos mesmos. No estado de Alagoas, por exemplo, há poucas informações acerca de seus recursos hídricos, pois apesar de ser delimitado por meio de 44 bacias, atualmente apenas 09 delas dispõem de leituras sistemáticas de nível d'água, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Assim, pode ser dito que as questões que influenciam a gestão dos recursos hídricos só podem ser solucionadas na presença de uma rede de monitoramento que realize diagnósticos quantitativos e qualitativos dessas reservas hídricas. Foi dentro desse contexto e da necessidade de dispor de dados que possibilitem um melhor gerenciamento dos recursos disponíveis que o presente trabalho foi elaborado.

Este trabalho visou, sobretudo, encontrar correlações entre velocidades para diversas profundidades em um rio objetivando encontrar expressões que possam representar essa relação. Também foi realizada uma análise qualitativa dos resultados obtidos, após a manipulação dos dados coletados em campo, com o auxílio de perfis de velocidade e gráficos de correlações que possibilitaram uma melhor compreensão destas relações.

Portanto, focando o estudo em um dos principais rios da grande Maceió, o rio Niquim, foi possível elaborar todo este estudo devido ao grande número de dados coletados no mesmo, já que as coletas, realizadas em paralelo com o levantamento batimétrico, foram procedidas nos anos de 2002, 2003, 2005 e 2006. Contudo, ressalta-se que nestes dois últimos anos as coletas de dados foram feitas com maior regularidade e amplitude, o que resultou em informações mais amplas, auxiliando ainda mais as análises elaboradas.

2 – ÁREA DE ESTUDO

O estado de Alagoas possui cerca de 15 regiões hidrográficas significativas distribuídas ao longo do seu território. Dentre as quais pode ser citada a do rio São Miguel que se destaca pela sua importância que os seus cursos d'água representam para o abastecimento dos municípios do seu entorno. A Figura 1 mostra as principais regiões hidrográficas do estado de Alagoas.

A bacia hidrográfica objeto deste estudo é descrita como pertencente à Região Metropolitana de Maceió pelo trabalho de Souza *et. al.* (2006). Esta bacia é responsável pelo abastecimento do município de Barra de São Miguel o qual possui uma das mais belas costas litorânea e conhecida principalmente como um município de veraneio, período no qual a cidade tem que comportar um

número muito maior de pessoas e, conseqüentemente, a sua rede de abastecimento de água geralmente fica sobrecarregada, o que ocasiona diversos transtornos a população.



Figura 1. Mapa hidrológico do estado de Alagoas. Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado de Alagoas.

A bacia do rio Niquim está localizada na região hidrográfica do rio São Miguel e encontra-se no município da Barra de São Miguel, cerca de 30 km ao sul da capital do Estado, cujas coordenadas geográficas são: latitude: - 35,911306; e longitude: - 9,801546, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2. Bacia hidrográfica do rio Niquim. Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado de Alagoas.

3 - METODOLOGIA

A vazão do rio é uma importante propriedade e, infelizmente, ainda não é levada em consideração na grande maioria dos rios do Brasil, principalmente aqueles situados no estado de Alagoas. A descarga do escoamento não pode ser medida diretamente num rio como é medida em uma tubulação porque a taxa volumétrica do líquido é alta e é distribuída através de uma seção transversal de grande tamanho. Desse modo a vazão pode ser calculada como o produto da velocidade média pela área da seção transversal. A velocidade varia ao longo do comprimento do rio, largura e profundidade. A seção de medição varia ao longo dos anos, como pode ser visto nas Figuras 3 e 4. Essas mudanças nestes perfis foram provocadas, provavelmente, por erosões fluviais ao longo desses anos, intensificadas por mudanças climáticas drásticas que ocorreram mais intensivamente nesses quatro últimos anos.

Na natureza, variações do perfil ideal de velocidade ocorrem muito frequentemente, especialmente ao longo de uma curva num rio, obstáculos que interferem no escoamento e formas irregulares do fundo do rio.

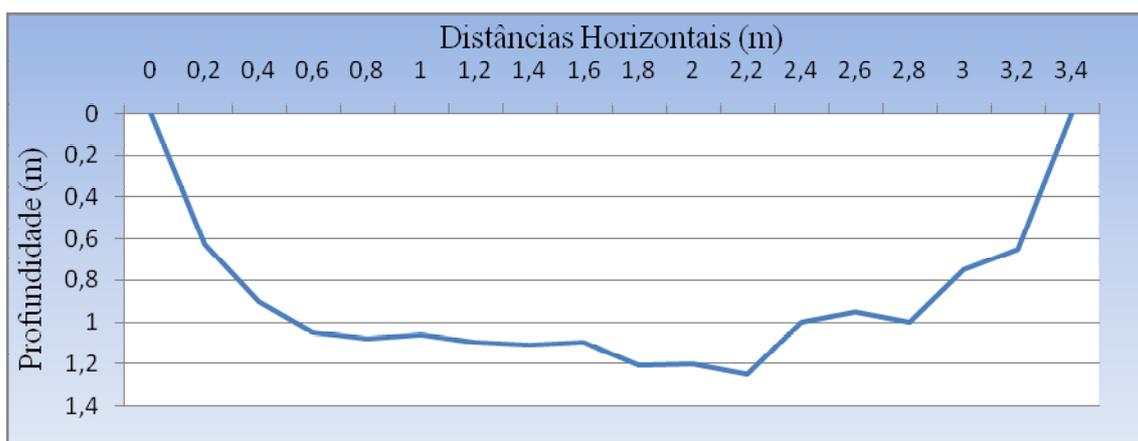


Figura 3. Perfil batimétrico da seção transversal do rio Niquim obtido no dia 10/12/2002.

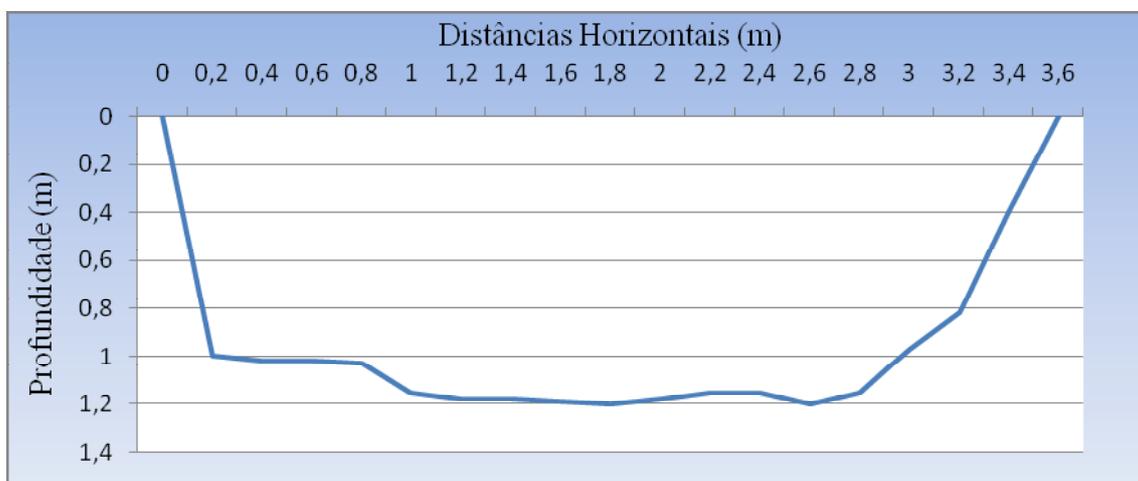


Figura 4. Perfil batimétrico da seção transversal do rio Niquim obtido no dia 20/08/2005.

Neste trabalho pretende-se, através de uma prévia análise de dados, estudar as correlações existentes entre os perfis de velocidade nas profundidades, 20%, 40%, 60%, 80% e superfície. Na obtenção desses dados foram feitas uma série de medições, em uma seção pré-escolhida, ao longo dos anos de 2002, 2003, 2005 e 2006, obedecendo todos os requisitos básicos de instalação de uma estação fluviométrica, Santos e outros (2003). As medições foram realizadas com o auxílio de um molinete fluviométrico, tendo sido as dos dois últimos anos mais regulares, acumulando, assim, um maior número de dados. O molinete era preparado e usando os valores das profundidades de cada vertical, obtidas na batimetria, puderam-se calcular os pontos que seriam alvos de estudo e registrar as suas rotações no sistema internacional, as quais foram convertidas em velocidades através da equação de calibração do molinete.

As campanhas foram realizadas ao longo dos 04 últimos anos e a seção escolhida se situa a montante da estação de captação de água do município da Barra de São Miguel. A batimetria do fundo foi realizada com o auxílio de uma haste graduada e seu registro era feito para cada 20 cm ao longo de uma corda graduada estendida transversalmente na seção de medição. Uma vez de posse desses registros, juntamente com os obtidos através do molinete, gráficos dos perfis foram plotados e análise estatísticas das correlações foram efetuados.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Perfis de velocidade

As velocidades pontuais em uma determinada seção transversal possuem uma distribuição espacial. Essa distribuição ocorre devido às tensões de resistência que atuam no escoamento, por consequência do atrito com o leito, com a margem e com a superfície em contato com o ar atmosférico, provocando o surgimento de variações de velocidade transversalmente e longitudinalmente, Silva (2003).

4.1.1 – Perfis horizontais de velocidade

Para uma melhor visualização do que está ocorrendo com as velocidades ao longo de diversas profundidades da seção transversal em relação às distâncias horizontais foram elaborados os perfis de velocidades transversais. Esses perfis possibilitam também observar possíveis relações entre as profundidades a partir de seus formatos e seus comportamentos ao longo da variação das distâncias horizontais e, conseqüentemente, da variação da profundidade associada àquela referida distância.

Para cada medição foi elaborado um gráfico contendo os perfis horizontais de velocidade para 20%, 40%, 60% e 80% da profundidade, bem como para a superfície. Abaixo estão ilustrados os gráficos de algumas medições realizadas, focalizando as medições de 2005 e 2006 para uma melhor caracterização.

A Figura 5 mostra o perfil horizontal de velocidade ao longo da seção de medição para os níveis na superfície, 20%, 40%, 60% e 80% do valor da profundidade da vertical medida quando da realização da batimetria, realizada no dia 24 de junho de 2005.

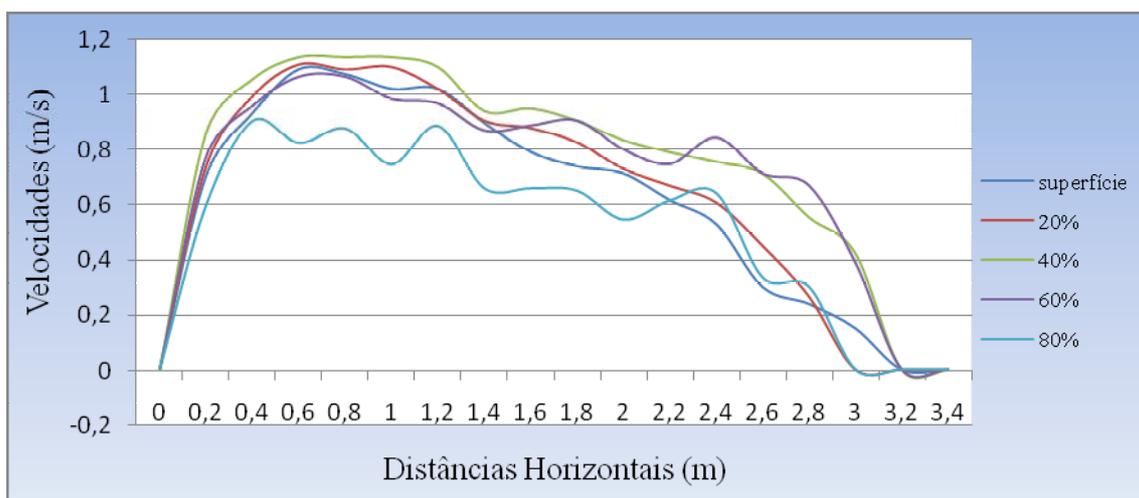


Figura 5. Perfis horizontais de velocidade da seção referente à medição realizada no dia 24/06/2005.

Na Figura 5 pode-se notar que em todas as curvas existe um comportamento bem definido para o perfil de velocidade. Nota-se que esses perfis se entrelaçam, sempre muito próximos uns dos outros, quase que se confundindo. Contudo a partir de 2,3m da margem os perfis de 40% e 60% se destacam dos demais, mesmo que de maneira sutil.

Se observarmos a Figura 6, constata-se que novamente há uma tendência geral para os perfis de velocidade. Novamente os perfis de 40% e 60% permanecem muito próximos. No entanto ao examinar o perfil de 80%, constata-se uma discrepância no mesmo entre 0,8m e 1,2m da margem o que pode ser explicado por algum fator de resistência que possa ter no leito do rio nesse intervalo, como exemplo uma rocha ou até mesmo a própria vegetação, no caso foi tronco de árvore.

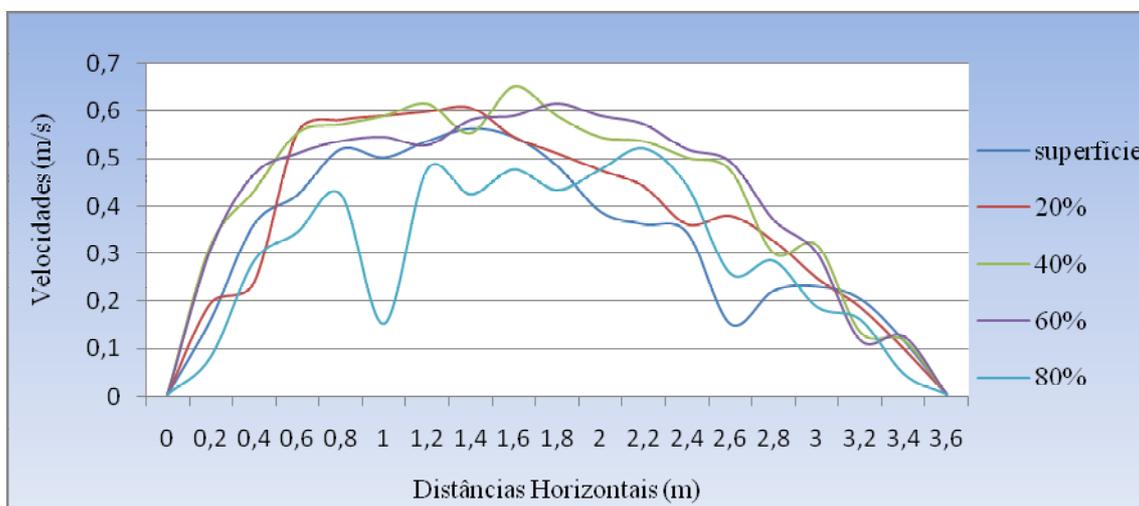


Figura 6. Perfis horizontais de velocidade da seção referente à medição do dia 20/08/2005.

A Figura 7 mostra ainda uma tendência geral para os perfis, contudo, para este caso, este perfil geral não representa tão bem todos os perfis em si, visto que agora não há um entrelaçamento tão contundente como o apresentado nas figuras 5 e 6. Para este caso, da medição do dia 20/10/2005, novamente a curva de 80% se distancia das outras, sobretudo a partir de 1,6m da margem. Podendo, ou não, indicar que haverá novamente um fator de resistência no leito do rio, como um obstáculo. Já no trecho de 0,3m a 0,7m da margem ocorre uma pequena queda nos valores

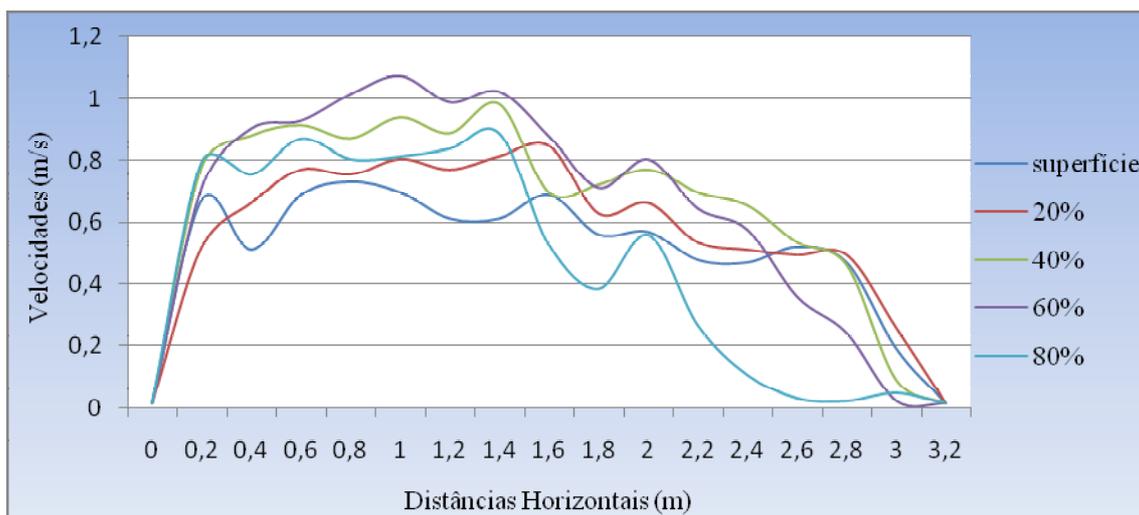


Figura 7. Perfis horizontais de velocidade da seção referente à medição do dia 20/10/2005.

das velocidades na superfície, que pode ter sido decorrente da ação do vento no local durante a medição. Isto também pode ter ocorrido entre 2,5m e 2,7m da margem no perfil da superfície indicado na Figura 6. Entretanto se for observado as escalas de velocidade, verifica-se que no segundo caso, o do dia 20/08/2005, a queda é mais suave, cerca de 0,1 m/s, enquanto que para o segundo caso ela é em torno de 0,2 m/s.

Para as medições feitas em 2006, todos os casos foram distintos uns dos outros. Apesar de apresentarem algumas similaridades, em sua grande maioria prevaleceram às diferenças entre os perfis de velocidade de mesma profundidade em medições distintas.

As Figuras 8 a 13 mostram alguns perfis referentes a medições ocorridas ao longo de 2006. Chame-se a atenção para as diferenças, muitas vezes bruscas mesmo que as medições tenham sido realizadas em curtos espaços de tempo, entre cada medição.

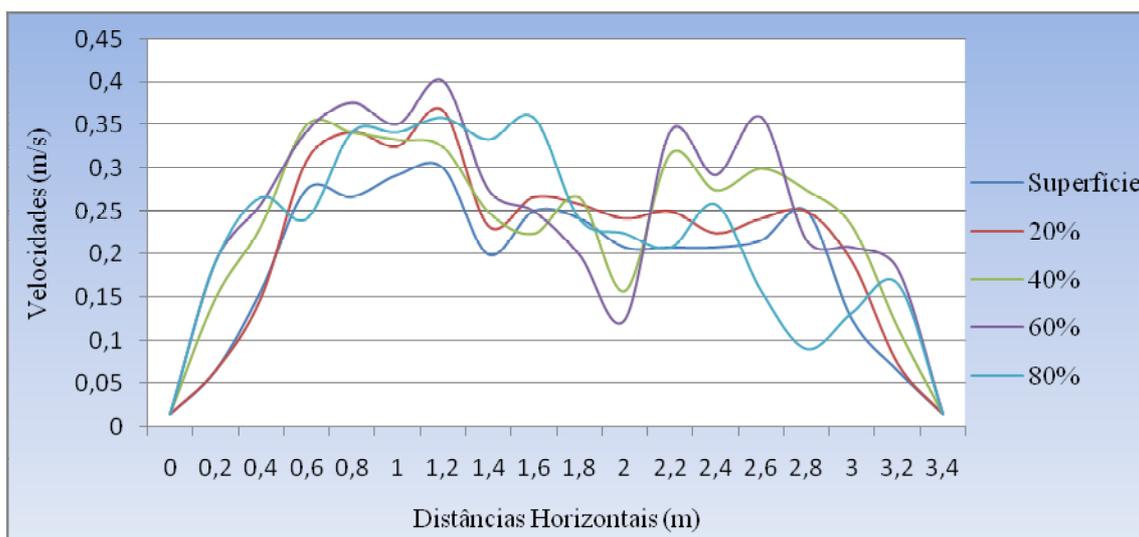


Figura 8. Perfis horizontais de velocidade da seção referente à medição do dia 16/01/2006.

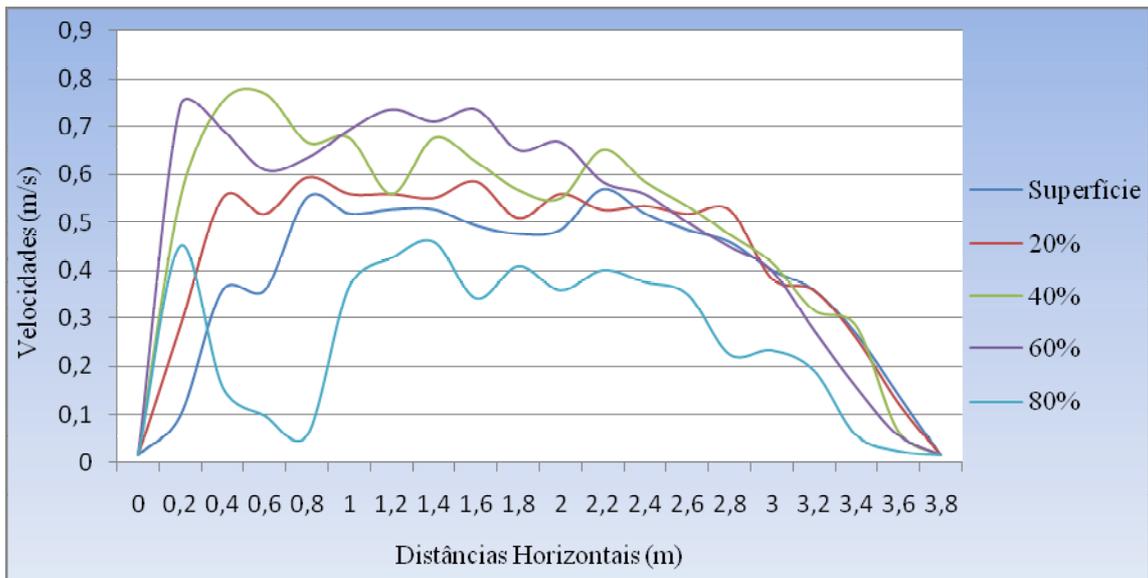


Figura 9. Perfis horizontais de velocidade da seção referente à medição do dia 21/01/2006.

Nota-se que tanto na Figura 8 quanto na Figura 9 teremos uma tendência geral boa, devido à proximidade nas formas e valores dos perfis, sobretudo para os perfis de 40% e 60% e para a superfície e 20%. Contudo há a exceção da curva de 80% da Figura 9 cujo comportamento, em valores e forma para o intervalo de 0,3m a 1,2m da margem, ficou isolado dos demais perfis da mesma medição. Como foi dito anteriormente a discrepância neste intervalo é provavelmente devido a fatores de obstáculos no leito do rio.

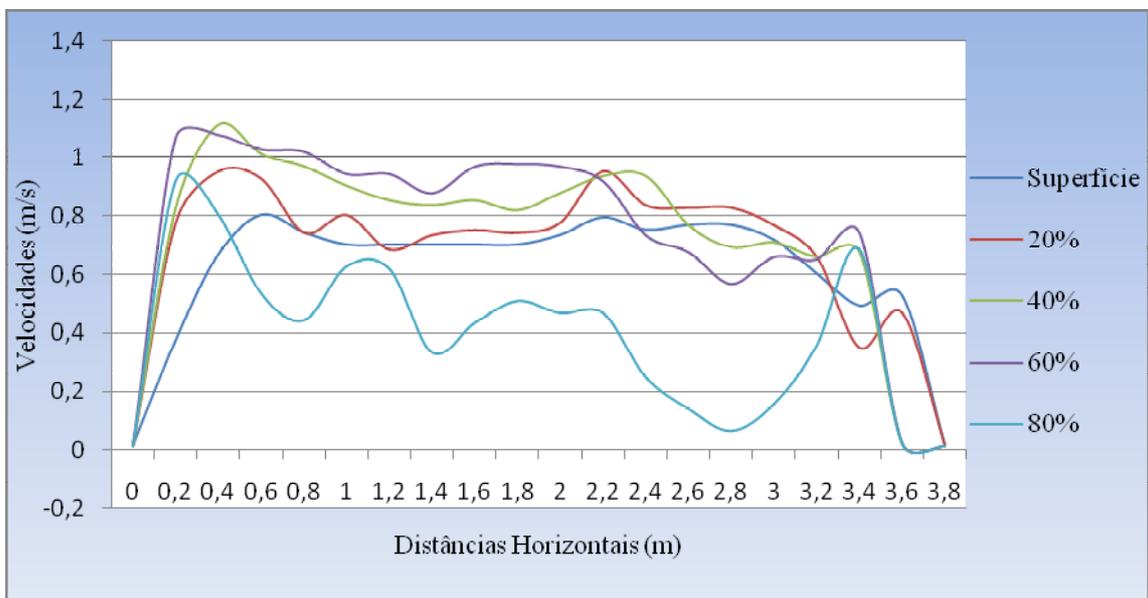


Figura 10. Perfis horizontais de velocidade da seção referente à medição do dia 29/05/2006.

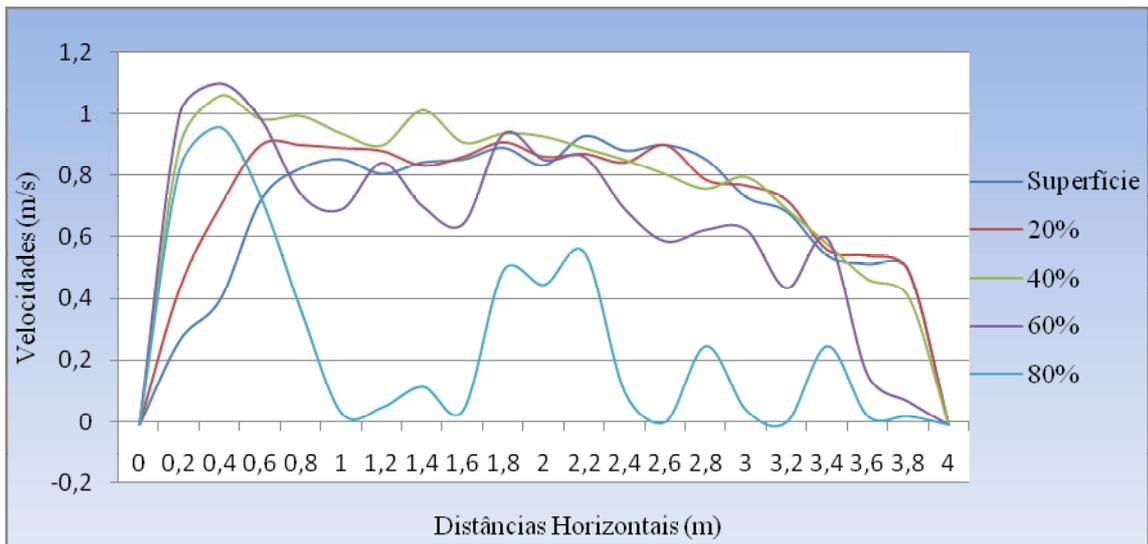


Figura 11. Perfis horizontais de velocidade da seção referente à medição do dia 05/10/2006.

Nas Figuras 10 e 11, pôde-se notar, novamente, que os perfis se aproximam de um perfil em comum, com exceção do perfil de 80%. Focalizando a curva de 80% na Figura 11, observam-se pontos onde a velocidade é muito baixa ou nula, isso demonstra grande influência do leito sobre o escoamento. Este tipo de influência também é presente nas medições do dia 06 de novembro de 2006, como se pode notar na Figura 12. Já na Figura 13, chama-se a atenção para as curvas de 60% e 80%, que apesar de terem valores bem distintos, as suas curvas possuem formatos similares, o mesmo acontecendo com a Figura 12.

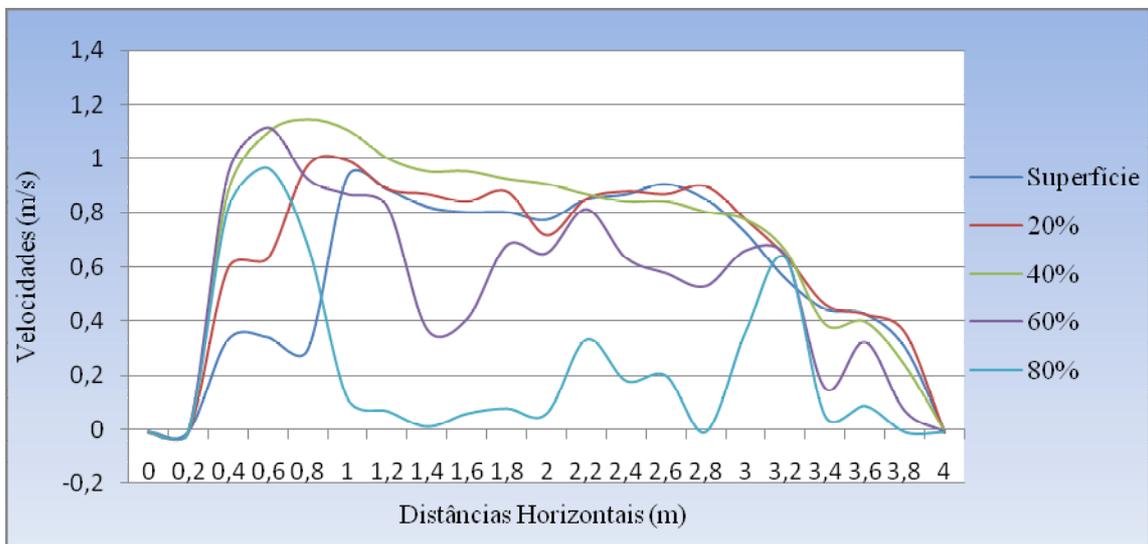


Figura 12. Perfis horizontais de velocidade da seção referente à medição do dia 06/11/2006.

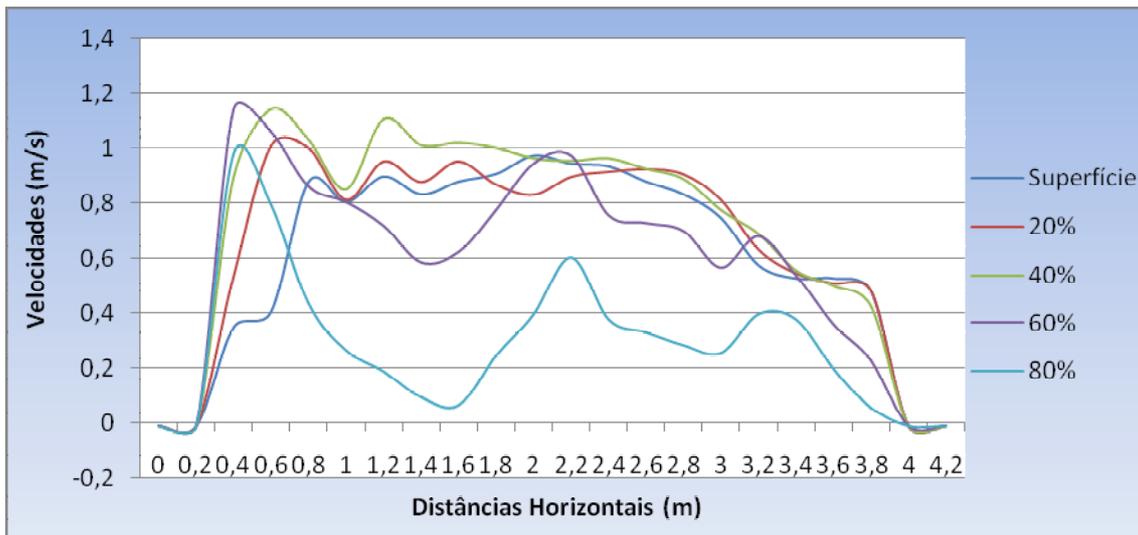


Figura 13. Perfis horizontais de velocidade da seção referente à medição do dia 17/11/2006.

4.1.2 – Perfis Verticais de Velocidade

Com os perfis verticais pode observar a distribuição da mesma ao longo de uma vertical. No caso foi elaborada uma “vertical média”, ou seja, tomamos a média dos pontos de cada profundidade ao invés de escolhermos uma vertical específica. Optou-se por fazer isso devido à geometria não linear do perfil batimétrico, que geralmente era apresentado, mesmo que em muitos casos havia perfis praticamente simétricos.

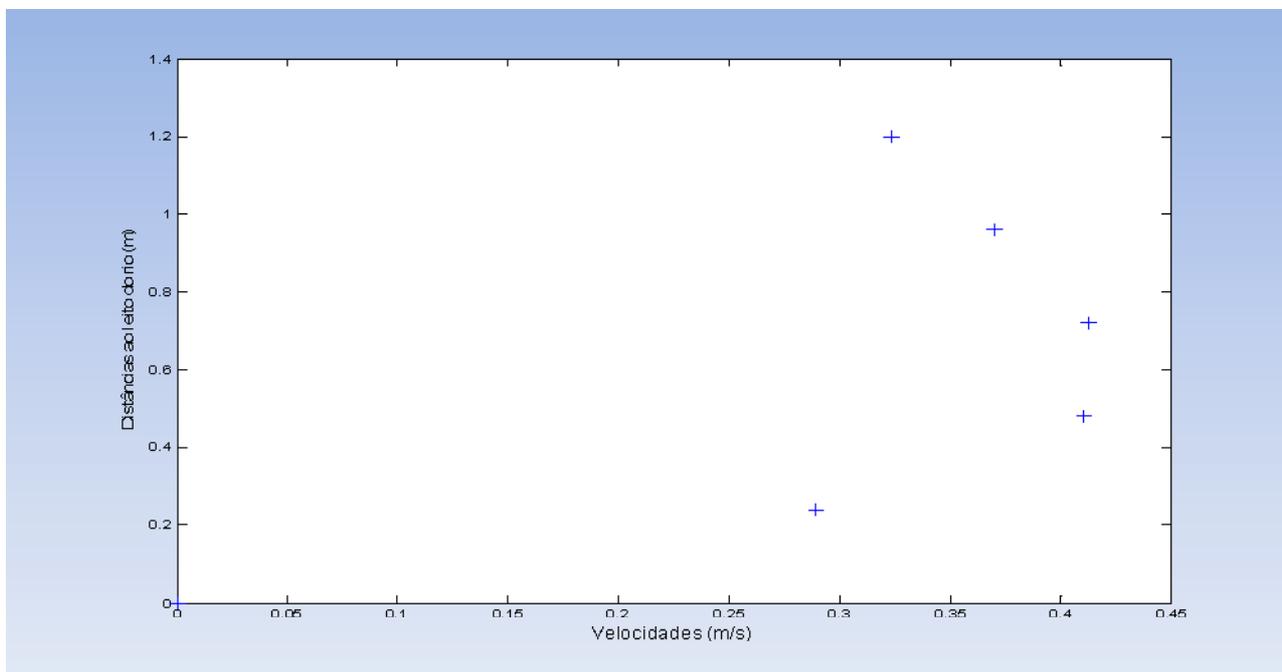


Figura 14. Perfil vertical de velocidade da seção referente à medição do dia 20/08/2005.

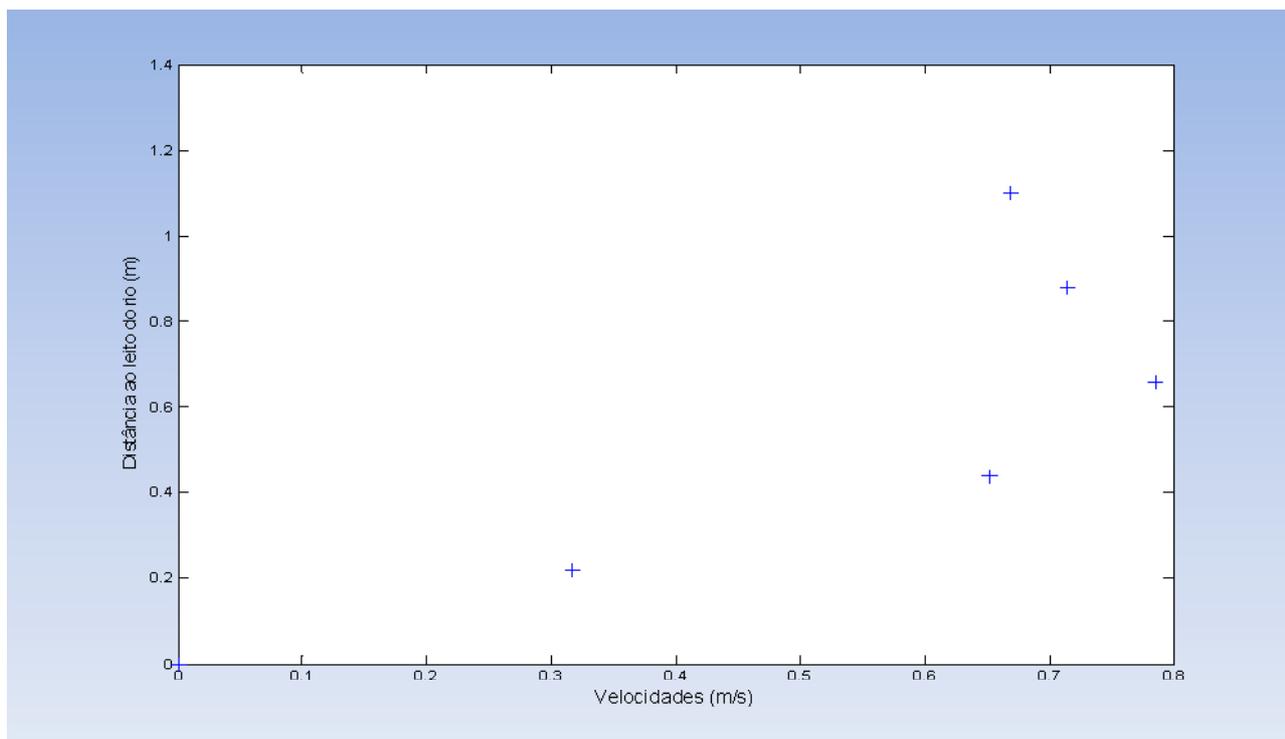


Figura 15. Perfil vertical de velocidade da seção referente à medição do dia 17/11/2006.

Nota-se que o perfil longitudinal de velocidade também sofreu mudanças ao longo dos anos, contudo ainda podem ser observadas algumas tendências, sobretudo até a profundidade 40%, que possibilitam uma boa correlação e, conseqüentemente, um bom ajuste.

4.2 – Estudos de correlações estatísticas entre as velocidades

Estabelecer a correlação entre perfis de velocidade simboliza encontrar uma relação entre as suas tendências, permitindo prever valores de velocidade em um perfil ao possuir valores de velocidade do outro perfil ajustado a este, deste modo conhecendo melhor a dinâmica do escoamento do rio para uma previsão do seu comportamento em situações drásticas.

Foram feitas todas as combinações possíveis entre as profundidades e ajustando-as a um modelo linear através da estimativa dos mínimos quadrados. Este modelo, também chamado de regressão linear, foi ajustado com um intervalo de confiança de 95% para se obter uma melhor qualidade da regressão, Montgomery & Runger (2002) e Souza (1981). Além disso, foi estabelecido o desvio padrão para usarmos como parâmetro, juntamente com o coeficiente de correlação, na determinação da qualidade do mesmo.

4.2.1 – Superfície e 20%

A Figura 16 mostra o comportamento linear para regressão realizada entre os valores das velocidades obtidas na superfície e a uma profundidade de 20% do leito do rio Niquim na seção de medição. A Figura 16, mostra também o coeficiente de correlação, r , que nesse caso é de cerca 93,85%, com um desvio padrão de 0,091 para a estimativa, indicando que o ajuste feito foi de boa qualidade.

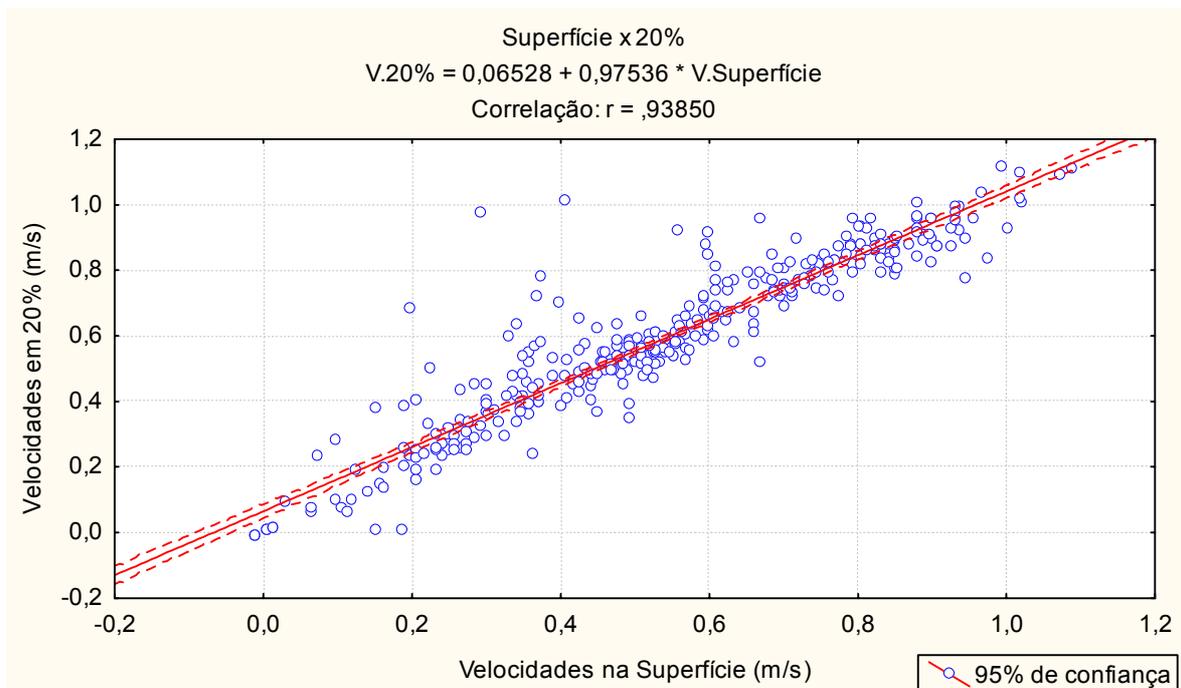


Figura 16. Regressão linear entre as velocidades na superfície e a 20% de profundidade.

A Figura 17 mostra os valores preditos para a velocidade na superfície e a 20% de profundidade em relação com os observados.

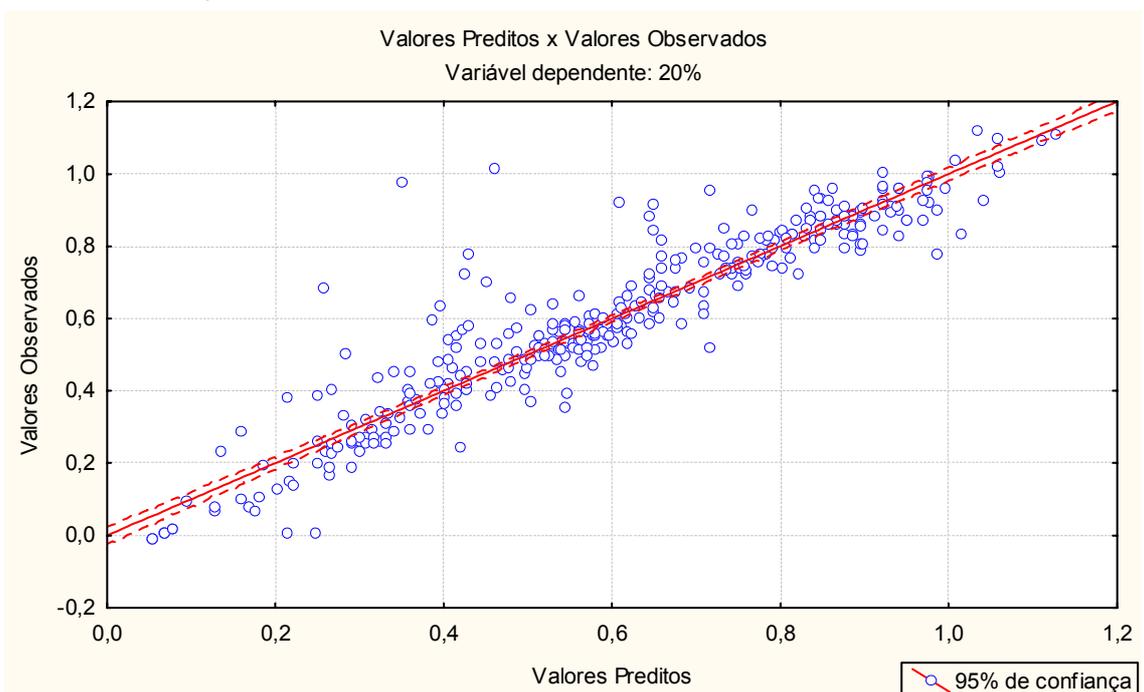


Figura 17. Relação de valores preditos e observados para a velocidade na superfície e 20%.

4.2.2 – Superfície e 40%

Para o caso de valores da velocidade na superfície e a 40% de profundidade, encontrou-se que o coeficiente de correlação é de aproximadamente 82,75% e que o desvio padrão é 0,1668. Esses valores também caracterizam um bom ajuste, descrito nas Figuras 18 e 19.

Na figura 19, encontra-se o gráfico da equação de ajuste. Enquanto que na figura 20, tem-se um gráfico de valores observados em função dos valores preditos pela expressão encontrada pela regressão linear.

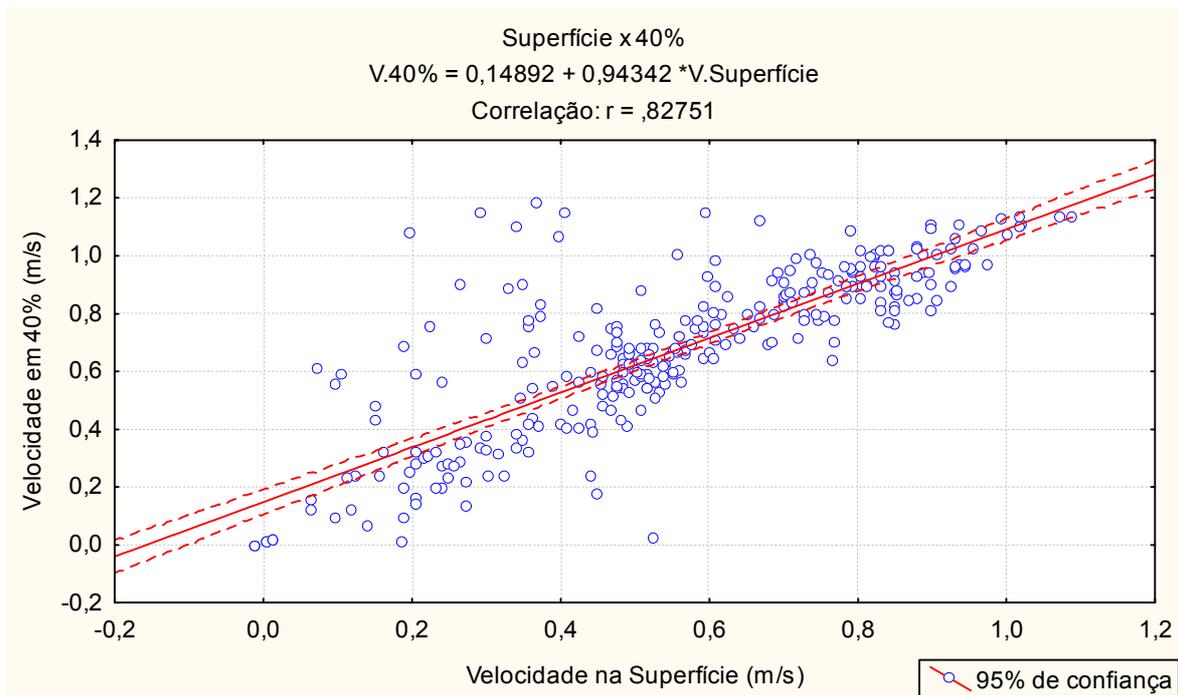


Figura 18. Regressão linear entre a velocidade na superfície e 40%.

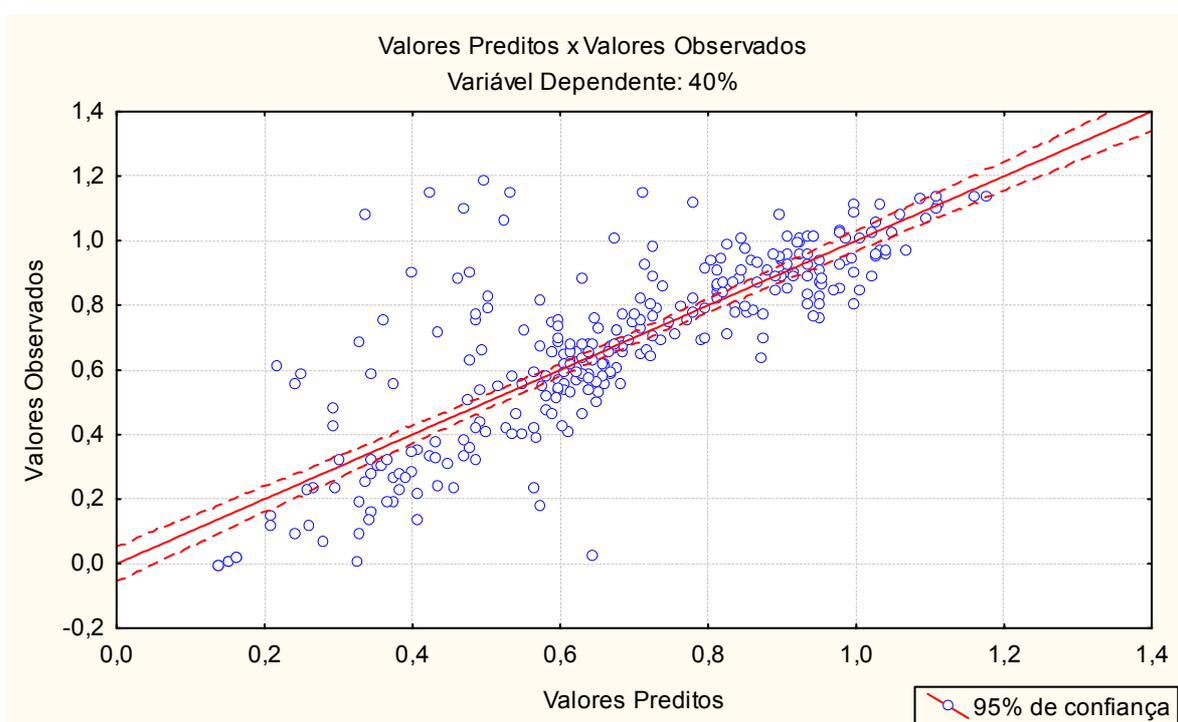


Figura 19. Relação de valores observados e preditos para as velocidades na superfície e a 40%.

4.2.3 – Superfície e 60%

Para o caso da relação entre a velocidade na superfície e a 60% de profundidade temos que o desvio padrão é de 0,1983 e que o r é de 70,71%. Ainda pode ser considerado que se tem um bom ajuste, conforme mostram as Figuras 20 e 21.

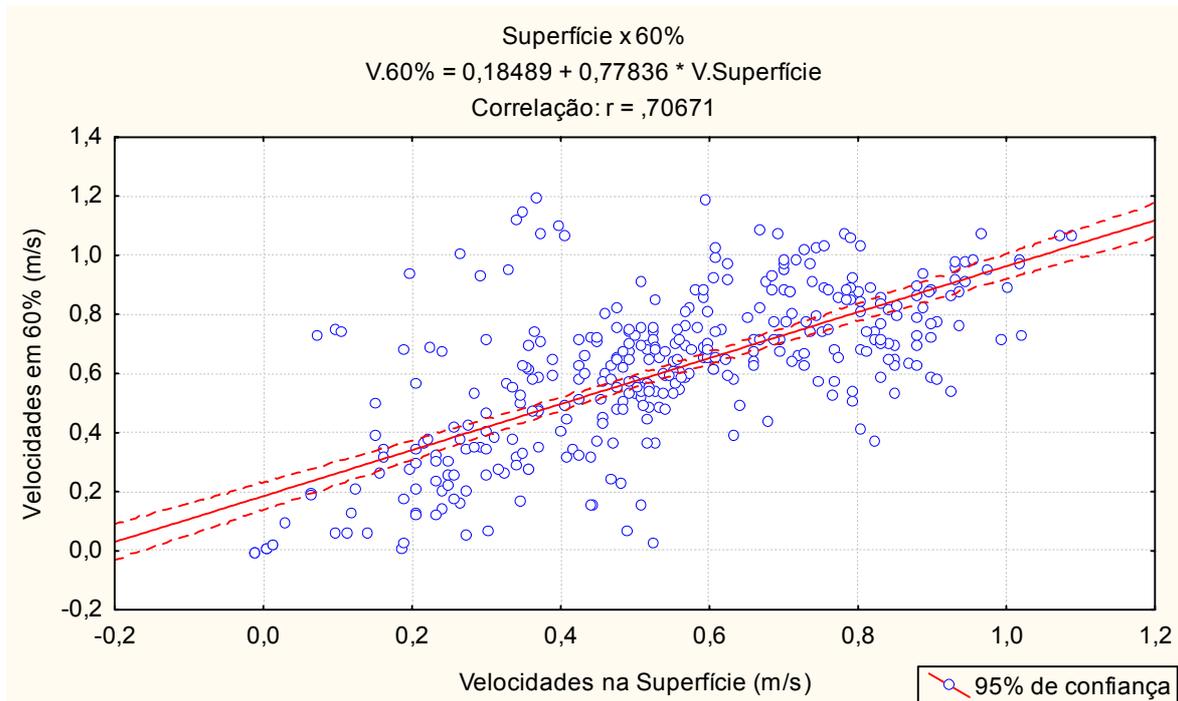


Figura 20. Regressão linear entre a velocidade na superfície e 60%.

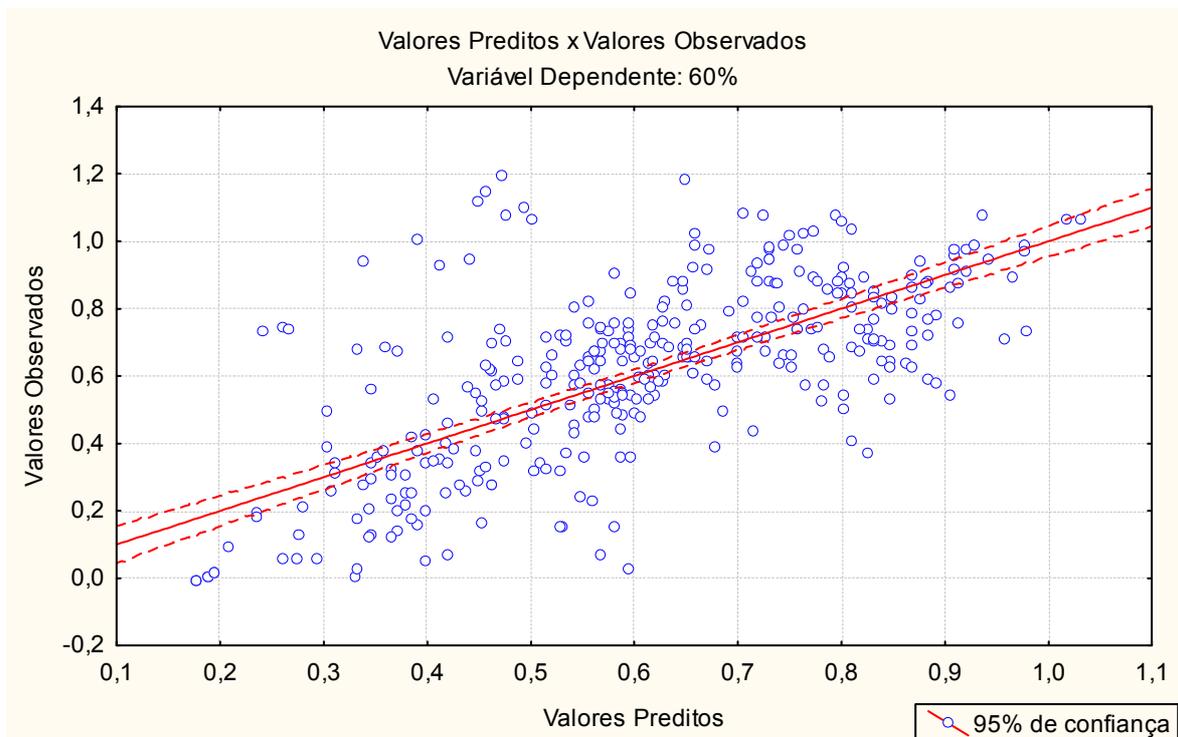


Figura 21. Relação entre os valores preditos e observados para a velocidade na superfície e a 60%.

4.2.4 – Superfície e 80%

Para a relação entre a velocidade na superfície e a 80% de profundidade não se pode considerar como boa, visto que o desvio padrão encontrado foi de aproximadamente 0,2354 e o coeficiente de correlação de 34,97%, conforme mostram as Figuras 22 e 23.

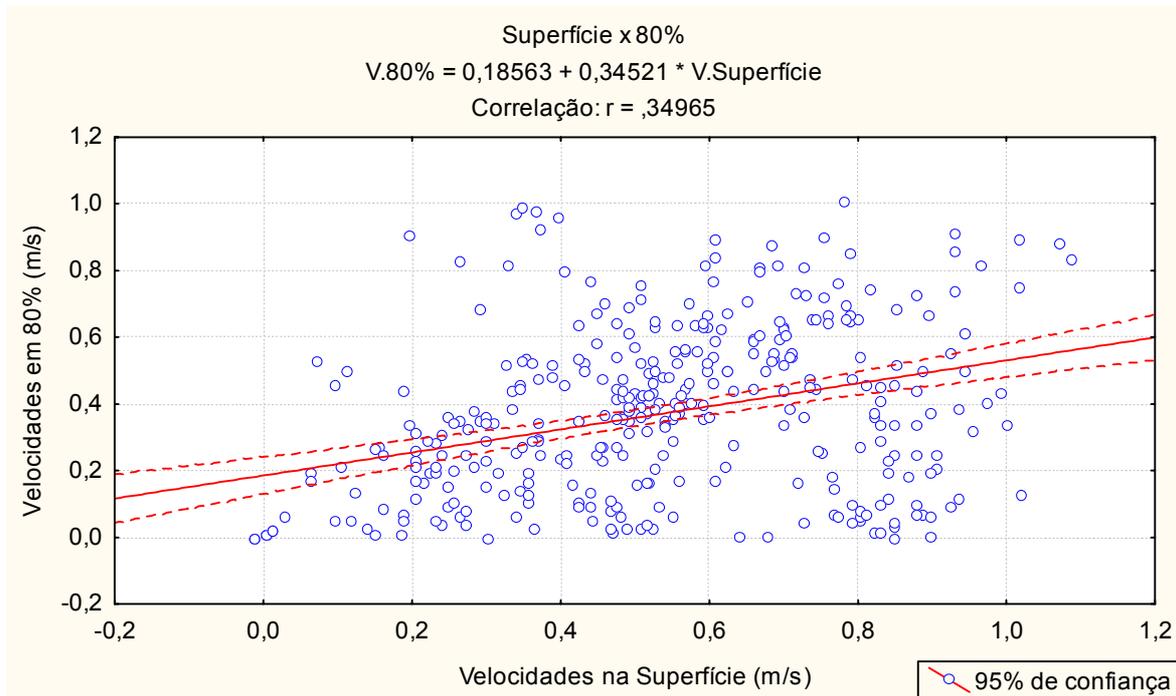


Figura 22. Regressão linear entre a velocidade na superfície e a 80%.

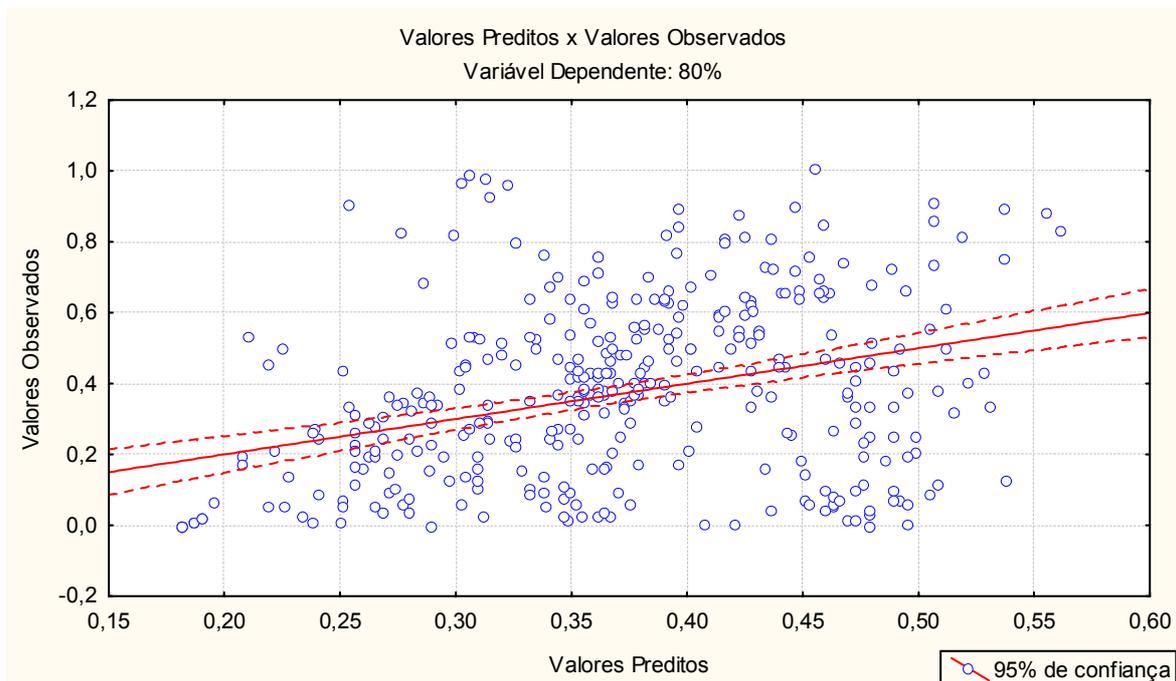


Figura 23. Relação entre os valores preditos e os observados da velocidade na superfície e a 80%.

4.2.5 – Outras Relações

Análises foram realizadas com combinações entre as velocidades obtidas para as outras profundidades, conforme mostram as Figuras 24 a 29. Estas correlações apresentaram coeficientes entre 46,02% e 93% e desvios padrão entre 0,108 e 0,234.

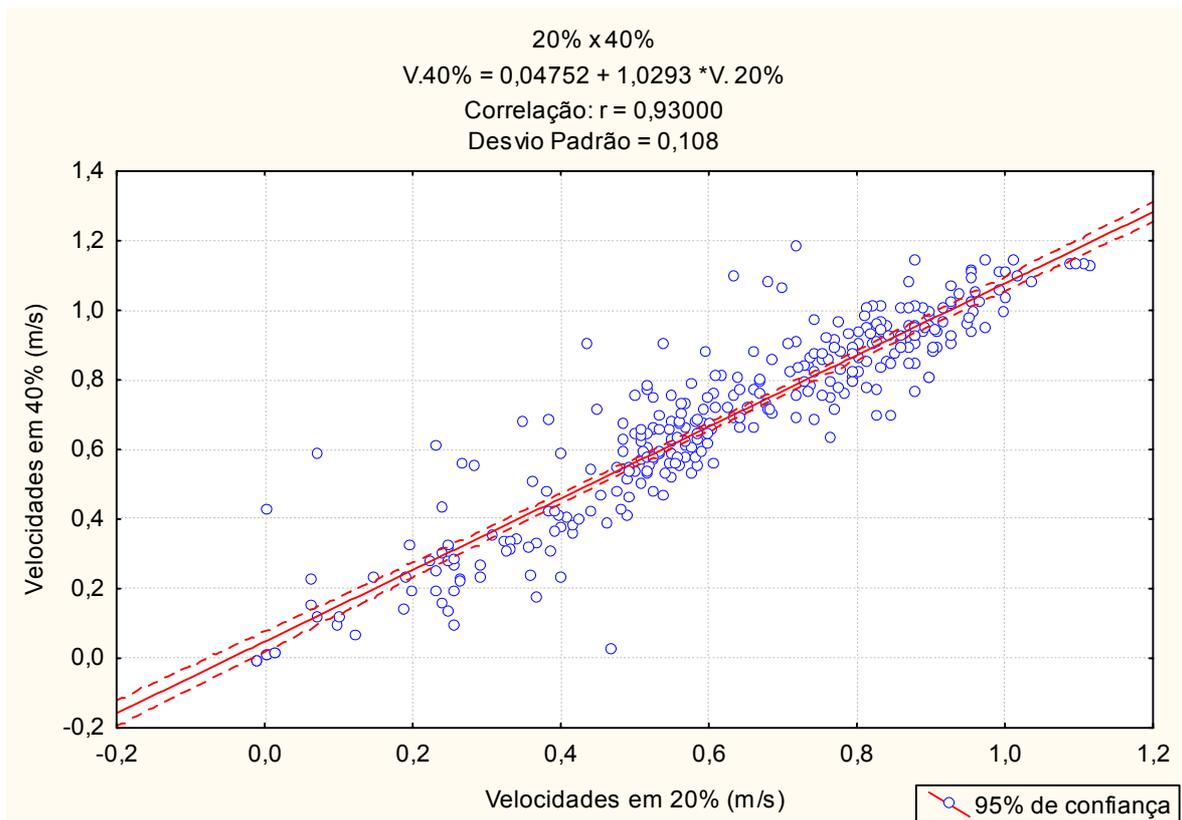


Figura 24. Regressão linear entre a velocidade na profundidade a 20% e a 40%

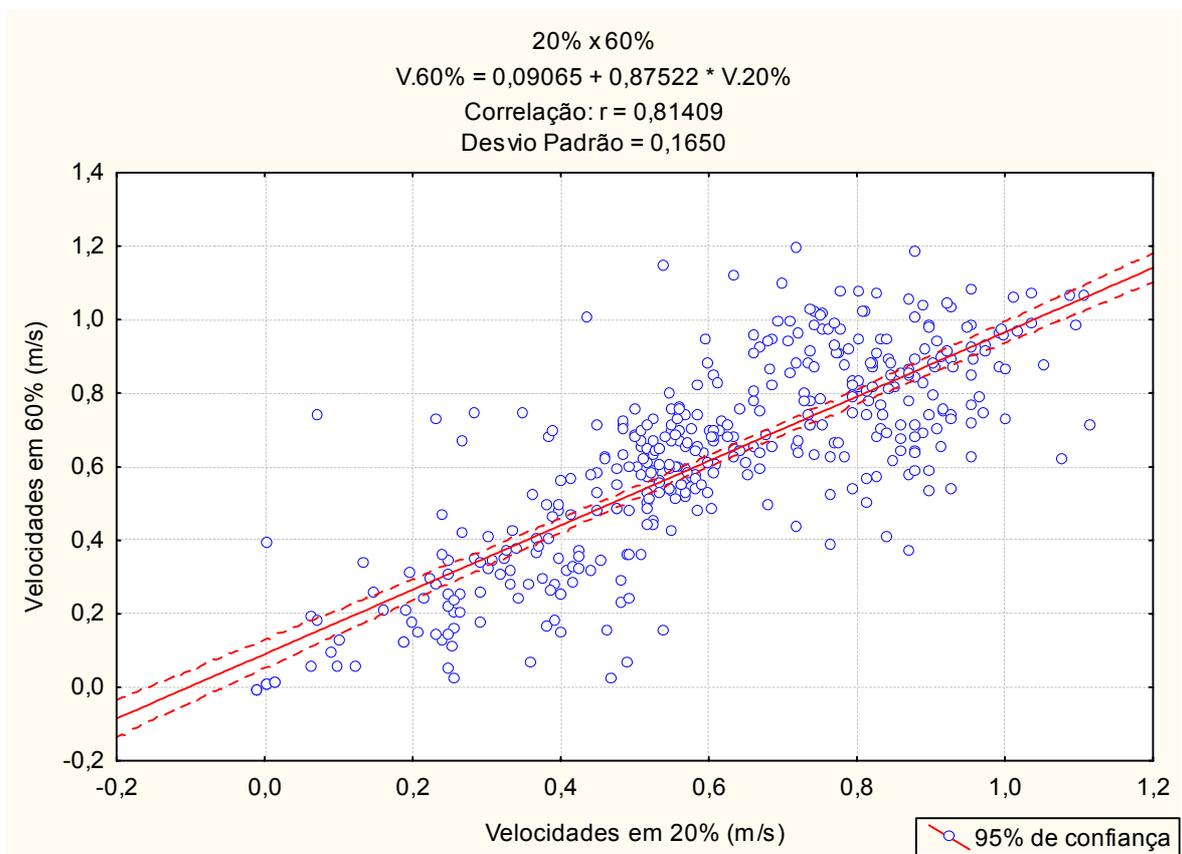


Figura 25. Regressão linear entre a velocidade na profundidade 20% e a 60%.

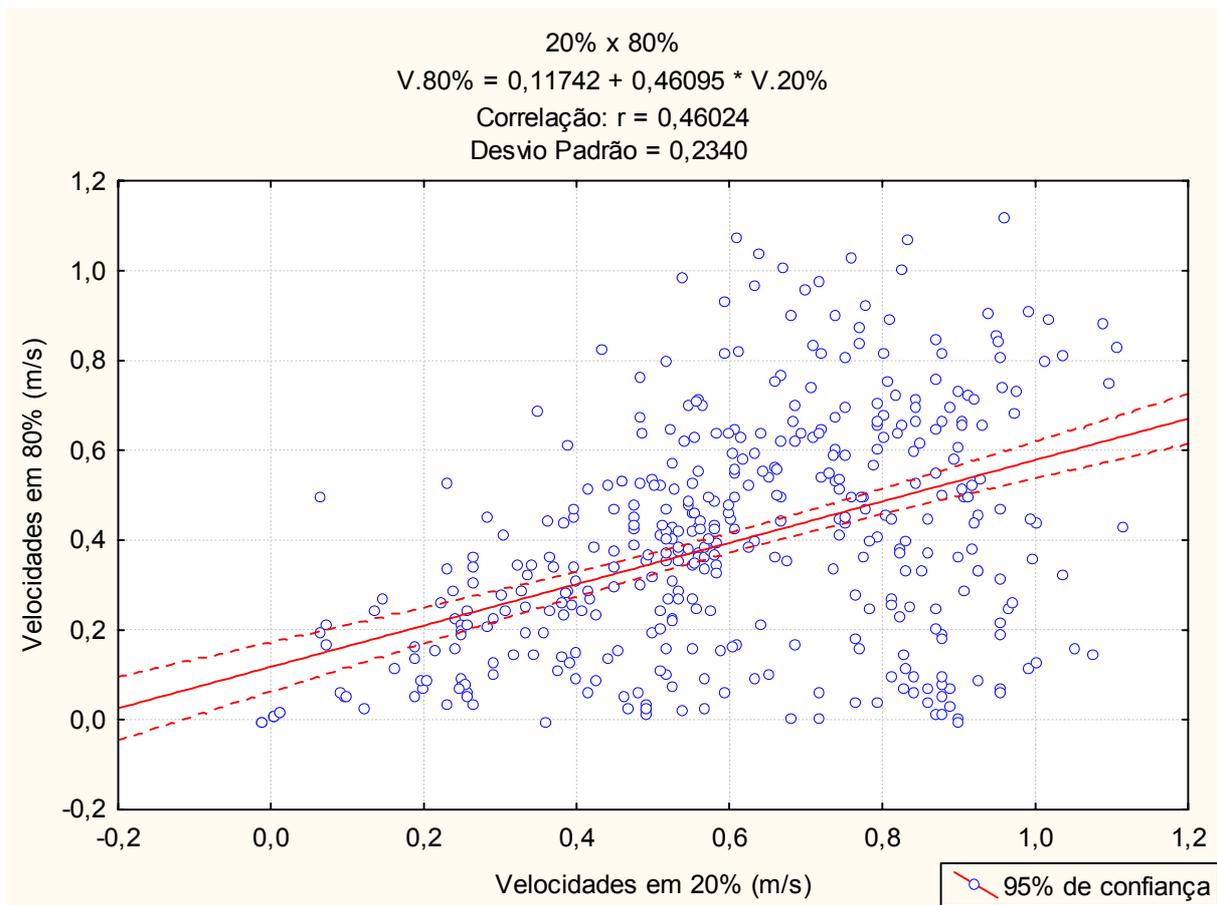


Figura 26. Regressão linear entre a velocidade na profundidade 20% e a 80%.

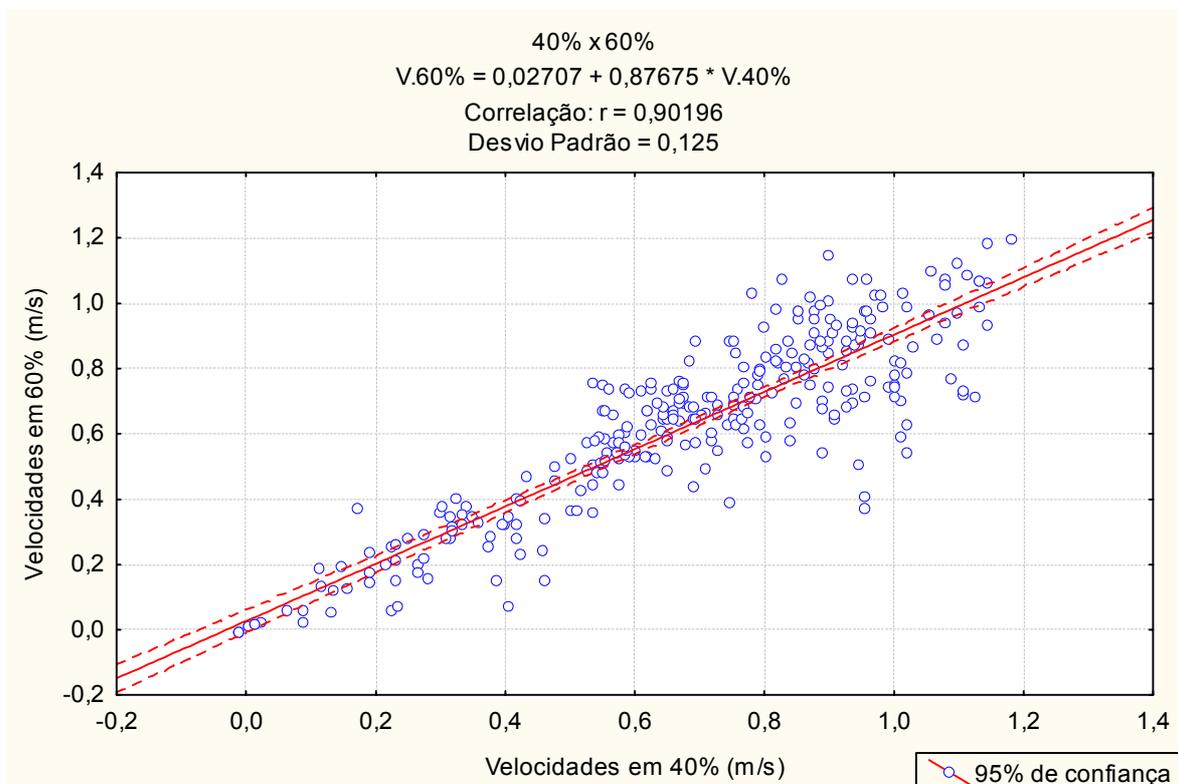


Figura 27. Regressão linear entre a velocidade na profundidade 40% e a 60%.

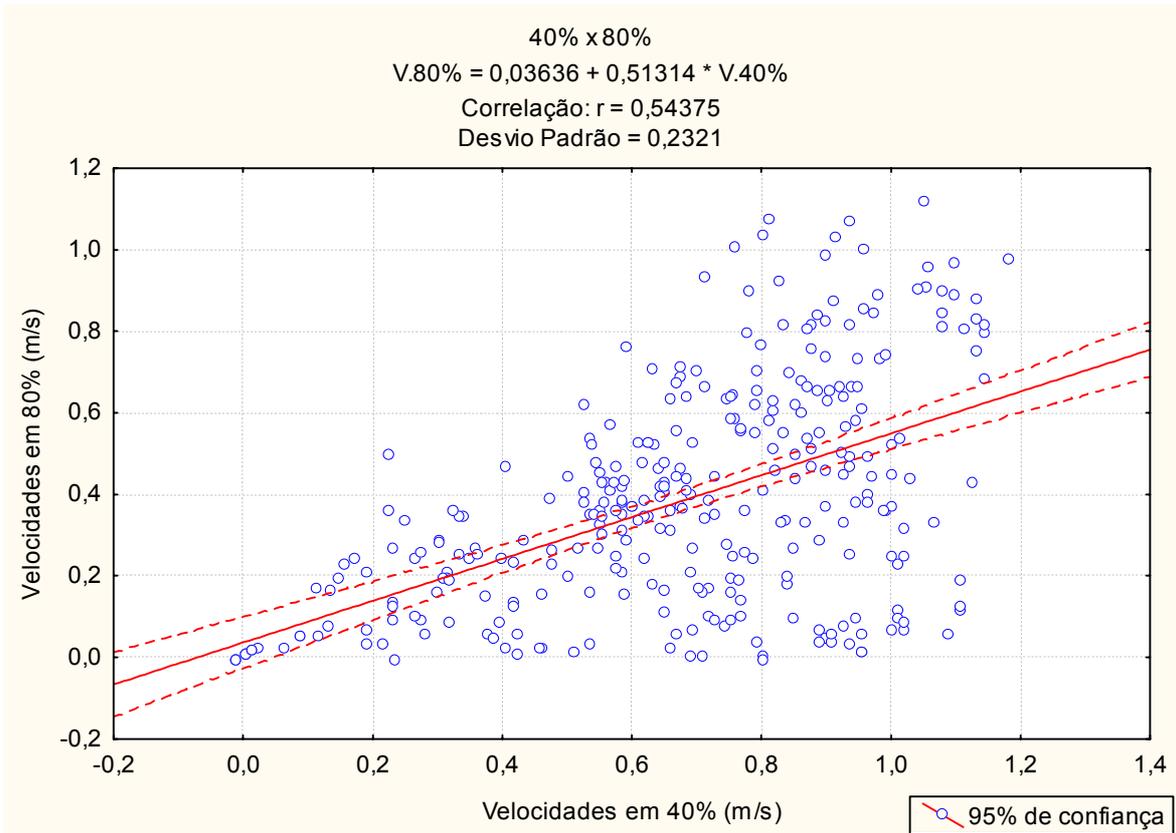


Figura 28. Regressão linear entre a velocidade na profundidade 40% e a 80%.

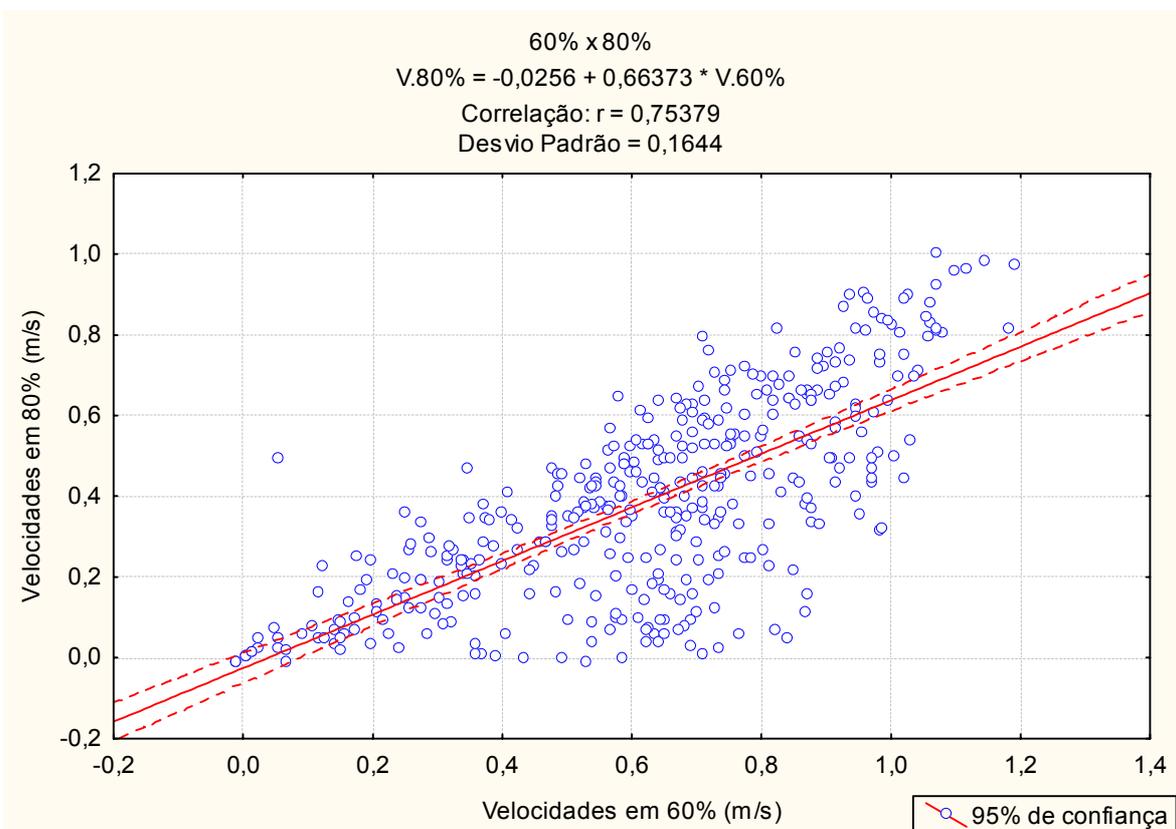


Figura 29. Regressão linear entre a velocidade na profundidade 60% e a 80%.

3 – CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos a partir das diversas correlações e de observações feitas durante a elaboração do trabalho, pode-se concluir que:

- As melhores correlações estão entre os perfis de velocidades ditos “vizinhos”, ou seja, cujas profundidades estão mais próximas.
- As correlações com os dados de velocidade a 80% de profundidade só são satisfatórias em sua relação com o perfil de 60%, cujo coeficiente de correlação é de 75,38%.
- Algumas das correlações podem ser melhoradas ao adotar uma regressão múltipla, onde o modelo alimentado pode ser, por exemplo, polinomial, exponencial ou logarítmico. Esses modelos estão sendo trabalhados e estudados para as correlações em que não foram encontrados resultados satisfatórios.
- Também estão sendo trabalhadas correlações entre as velocidades obtidas nas diversas profundidades e a batimetria da seção através de regressão múltipla, visto que os resultados com a regressão linear não obtiveram coeficiente de correlação superior a 48,21%, tendo sido este obtido na relação com 60%. Estas correlações não foram mostradas neste trabalho já que os resultados não foram satisfatórios e continuam sendo analisadas.

Não restam dúvidas da importância da coleta de dados para os estudos de bacias hidrográficas para se obter resultados cada vez mais precisos e completos, sobretudo quando o alvo do estudo são os seus rios. Pois apesar de termos 04 anos de medições, para que os modelos possam agregar um número maior de situações distintas, ampliando a sua precisão, são necessários mais dados coletados em campo.

Os resultados obtidos até agora já nos possibilitam determinar velocidades em uma determinada profundidade, bem como os seus respectivos perfis, através de velocidades em outras profundidades através das expressões descritas acima, sendo o erro desta estimativa inversamente proporcional ao coeficiente de correlação da relação entre essas profundidades.

Os estudos que continuam sendo realizados visam dar continuidade aos resultados já encontrados, a fim de reduzir esta margem de erro, ampliando assim a caracterização dos perfis de velocidade deste rio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à participação e discussões do Prof. Christiano Cantarelli Rodrigues do Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento do CTEC/UFAL na elaboração deste trabalho. Assim como agradecem aos integrantes do PET/Engenharia Civil/UFAL e aos técnicos do Grupo de Pesquisa em Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos-CNPQ/UFAL e ex-PAESPANOS na coleta de dados no campo Luiz Henrique da Silva, Simone Maria Soares da Silva e Geiza Thâmirys Correia Gomes. Este trabalho só foi possível graças ao financiamento das bolsas de iniciação

científica por parte do PIBIC/CNPq/UFAL e PET/SESU/UFAL, além do apoio financeiro e logístico da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas - FAPEAL.

BIBLIOGRAFIA

1. MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. (2002). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley & Sons, Inc, 822p.
2. PORTO, R. M. (2006). *Hidráulica Básica*. EESC USP, 519p.
3. SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. (2001). *Hidrometria Aplicada*. LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 372p.
4. SILVA, J.O.M., PEREIRA, F.F., SOUZA BARROS, C.R.S., FREIRE, C.C., SOUZA, V.C. B. e SOUZA, R.C. (2006), “Estudo de parâmetros físicos das águas de alguns rios localizados na grande Maceió/Alagoas”, In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, gravatá/PE, CD-ROM. ABRH, 2006.
5. SILVA, R.C.V.; MASCARENHAS, F.C.B.; MIQUEZ, M.G. (2003). *Hidráulica Fluvial, Volume 1*. COPPE/UFRJ, 306p.
6. SOUZA, R.C. (1981), “Examination of Fluid Dynamics Particles in a Non-Dilute Suspension Turbulent Flow”, Ph.D. Thesis, University of Illinois at Champaign-Urbana.
6. SOUZA, R.C., FREIRE, C.C., SOUZA, V.C.B., SILVA, J.O.M., BOAS, L.C.V., PEREIRA, F.F., CAVALCANTE, R.D.B. e DANTAS, D.A.C. (2005), “Monitoramento de alguns rios da grande Maceió: Resultados Preliminares”, In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa/PB, CD-ROM. ABRH, 2005.