

EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (27/05/98)

Tabela 4.1 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - Δx</i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\overline{\Delta\rho}}{\Delta x}$ (kg m ⁻⁴)	<i>Vazão</i> (m ³ s ⁻¹)
Sizígia em 25/05/98	3200	1000	8,6	0,000845	330

Retornando ao período experimental em época de baixa vazão de água doce, tem-se também uma situação de estratificação vertical de S (Figura 4.9.a) semelhante ao experimento realizado na mesma época, mas no período de quadratura (Figura 4.5.a). Nesse caso, a variação de S entre o fundo e a superfície também encontrou-se perto de 12, porém com uma haloclina pronunciada correspondente a uma variação de 7 unidades, entre $Z=0,8$ e $Z=1$. Portanto, não se observou uma substancial modulação na estrutura da salinidade em função da mudança de fase lunar.

Porém, a baixa descarga fluvial e a mudança de fase lunar provocaram uma alteração na estrutura vertical de u . No experimento de quadratura havia um padrão de circulação gravitacional (Figura 4.5.b), enquanto neste o movimento é em direção ao Mar Pequeno em toda a coluna de água (Figura 4.9.b). Em teoria, o valor médio de u representa o sentido da velocidade associada à descarga de água doce, que seria em direção à Barra de Cananéia. Assim, o fato dessa velocidade estar dirigida para o Mar Pequeno, e o maior valor de u encontrar-se em $Z=0,5$ são indícios de que o efeito da descarga fluvial foi superado pelo da maré.

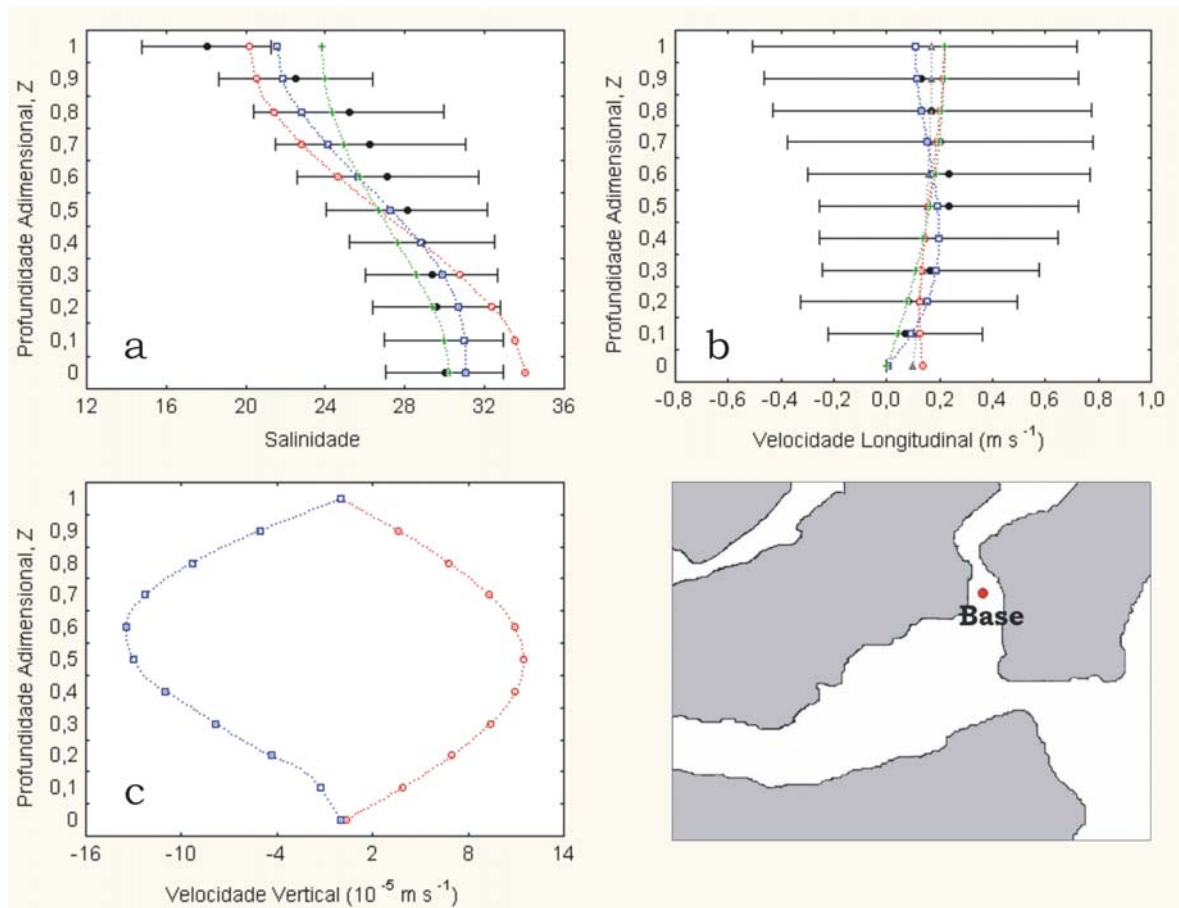


Figura 4.1 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e dos componentes longitudinal (b) e vertical (c) da velocidade às condições experimentais • na estação Base após o rompimento do Valo Grande, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) \circ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) \square sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) $+$ sem escorregamento de fundo.

O perfil teórico do componente w foi caracterizado por grande variabilidade que, de acordo com o tipo de condição de contorno no fundo, apresentou inversão de sentido (Figura 4.9.c). Assim como nos experimentos de quadratura em junho (Figura 4.5.c) e outubro de 1998 (Figura 4.7.c), neste também foram estimados valores negativos para w . Entretanto, neste experimento foram calculados valores tanto positivos como negativos para o componente em questão. O que pode explicar tal padrão é o fato de, apesar do fluxo ser unidirecional (neste caso em direção ao interior do estuário), os máximos valores de u encontrarem-se entre as profundidades adimensionais $Z=0,5$ e $0,6$, que são as mesmas onde foram estimadas as maiores intensidades para w . Portanto, poderia estar ocorrendo a transferência vertical de momento das camadas com maiores valores de u ($Z=0,5$ e $0,6$) tanto para as porções superiores da coluna de água, como para as inferiores, o que justificaria valores positivos e negativos para w .

Tabela 4.2 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ <i>escorreg.</i>)	<i>Miranda</i> (c/ <i>escorreg.</i>)	<i>Fisher et al.</i> (s/ <i>escorreg.</i>)	<i>Hansen</i> (s/ <i>escorreg.</i>)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,66	0,29	0,86	0,67
<i>Salinidade</i>	-	0,86	0,89	0,84

A Tabela 4.26 mostra que as baixas correlações encontradas principalmente entre u experimental e as respectivas simulações teóricas são resultado do pico de velocidade encontrar-se a meia água ($Z=0,5$), enquanto os modelos geram resultados em que ocorre um decréscimo progressivo da velocidade entre a superfície e o fundo, sob condições de movimento com apenas um sentido. Apenas um dos resultados teóricos apresentou boa correlação com o perfil experimental, enquanto os outros apresentaram pouco ou nenhum significado estatístico. A distribuição experimental de S também teve suas correlações reduzidas devido à haloclina nas camadas superficiais, feição não reproduzida a contento pelos modelos.

Tabela 4.3 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta (A_z), $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, e de difusão turbulenta (K_z), $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

<i>A_z - Prandle</i>	<i>A_z - Miranda</i>	<i>A_z - Hansen</i>	<i>K_z - Miranda</i>	<i>K_z - Hansen</i>
753,3	28,2	1,6	1,5	1000

Em virtude das características dos perfis verticais de u e S , poder-se-iam esperar altos valores para os coeficientes de viscosidade turbulenta e baixos valores para os coeficientes de difusão turbulenta, respectivamente. Sendo assim, os resultados de viscosidade estiveram de acordo com a expectativa, apesar do modelo de Prandle (1985) ter gerado um coeficiente cinemático de viscosidade turbulenta bem mais alto do que os demais (Tabela 4.27). Com relação à difusão turbulenta, o modelo de Hansen & Rattray (1965) gerou valores bastante elevados. Como as correlações foram, em geral, pouco satisfatórias, esses coeficientes de mistura devem ser interpretados com cautela.

EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (21/08/98)

Tabela 4.4 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

Fase Lunar	Distância - Δx (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	$\frac{\bar{\Delta\rho}}{\Delta x}$ ($kg\ m^{-4}$)	Vazão ($m^3\ s^{-1}$)
Sizígia em 21/08/98	3200	1000	8,4	0,000658	100

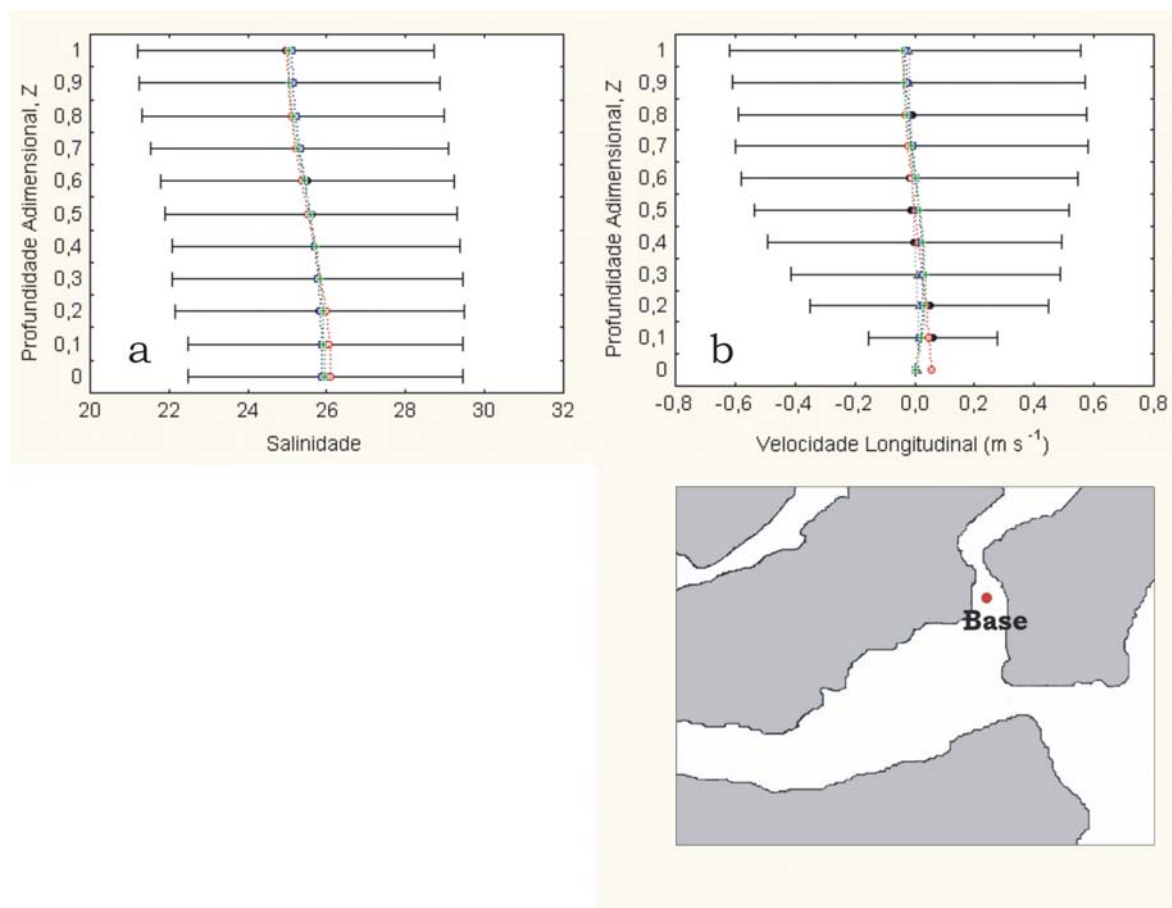


Figura 4.2 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Base após o rompimento do Valo Grande, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) \circ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) \square sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) $+$ sem escorregamento de fundo.

Não houve muitas mudanças entre esse experimento (Figura 4.10) e o respectivo em quadratura (Figura 4.6). Com relação ao perfil experimental de S, o efeito da maré de sizígia causou uma menor estratificação vertical (Figura 4.10.a). O desvio padrão dessa propriedade sugere que a variabilidade foi quase constante em toda a coluna de água. Os perfis teóricos foram bem ajustados ao perfil experimental de S.

Já a diferença entre os extremos de u foi a menor dentre todas os experimentos realizados em Cananéia após o rompimento do Valo Grande, apesar da grande variabilidade da velocidade ao longo do ciclo de maré (Figura 4.10.b). Essas condições refletem a época de menor descarga de água doce na região, onde a maré predomina sobre a distribuição de S e de u . As simulações teóricas de u também reproduziram a contento as principais feições do perfil experimental.

Tabela 4.5 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,82	0,77	0,74	0,74
<i>Salinidade</i>	-	0,98	0,99	0,99

Apesar de todas as correlações entre as soluções teóricas e experimental para u serem estatisticamente significativas, os valores são apenas satisfatórios. Já o perfil experimental de S foi muito bem representado pelas soluções teóricas (Tabela 4.29).

Tabela 4.6 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta (Az), $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, e de difusão turbulenta (Kz), $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

	<i>Az – Prandle</i>	<i>Az - Miranda</i>	<i>Az – Hansen</i>	<i>Kz – Miranda</i>	<i>Kz – Hansen</i>
	186,1	55,8	350	4	17

De acordo com a Tabela 4.30, as pequenas variações verticais de u e S foram reproduzidas satisfatoriamente pelos altos valores principalmente dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta, que representam as condições favoráveis à mistura entre as diferentes camadas da coluna de água.

EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (01/11/98)

Tabela 4.7 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - Δx</i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\bar{\Delta\rho}}{\Delta x}$ (kg m^{-4})	<i>Vazão</i> ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Sizígia	3200	1000	7	0,000679	550

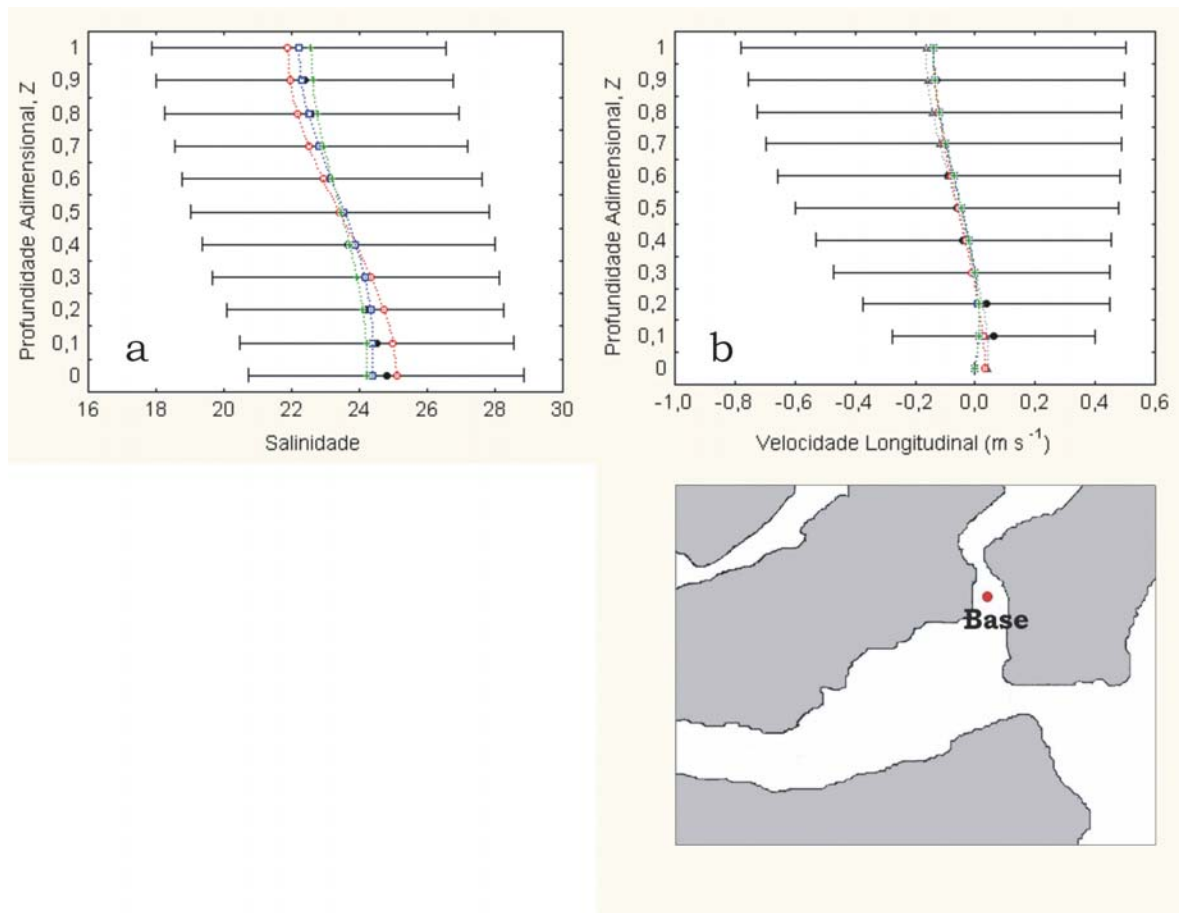


Figura 4.3 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Base após o rompimento do Valo Grande, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) \circ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) \square sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) $+$ sem escorregamento de fundo.

Ao contrário dos últimos experimentos (Figuras 4.9 e 4.10), mais uma vez houve diferenças significativas entre os perfis experimentais de u e S em relação à situação de quadratura (Figura 4.7.a). Neste caso, a maré em sizígia ocasionou a elevação da salinidade média em torno de 3 unidades e uma maior mistura vertical de S , com diferença entre superfície e fundo em torno de 2,5, enquanto em quadratura essa diferença foi de aproximadamente 12 unidades (Figura 4.11.a). De modo geral, o perfil experimental foi bem reproduzido pelos resultados teóricos.

A velocidade u também teve sua intensidade reduzida durante a sizígia, apesar de ter sido mantida a característica de circulação gravitacional (Figura 4.11.b). A erosão da haloclina por efeito da maré, associado ao efeito local de ventos de quadrante sudoeste (Bérgamo, com. pessoal), reduziu o gradiente longitudinal de densidade, o que acarretou em diminuição da intensidade média de u .

Tabela 4.8 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ <i>escorreg.</i>)	<i>Miranda</i> (c/ <i>escorreg.</i>)	<i>Fisher et al.</i> (s/ <i>escorreg.</i>)	<i>Hansen</i> (s/ <i>escorreg.</i>)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,97	0,96	0,96	0,96
<i>Salinidade</i>	-	0,99	0,98	0,99

As correlações obtidas indicam que os resultados teóricos representaram muito bem os perfis experimentais de u e S (Tabela 4.32), inclusive com valores mais elevados do que os calculados para o respectivo experimento de quadratura (Tabela 4.20).

Tabela 4.9 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta (A_z), $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, e de difusão turbulenta (K_z), $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

	<i>A_z – Prandle</i>	<i>A_z – Miranda</i>	<i>A_z – Hansen</i>	<i>K_z – Miranda</i>	<i>K_z – Hansen</i>
	59,5	12,7	90	4,5	8

A Tabela 4.33 mostra que os coeficientes teóricos de viscosidade turbulenta e de difusão turbulenta também acompanharam a boa representação das condições experimentais, com valores de mesma ordem de grandeza para um mesmo coeficiente. Em comparação com o respectivo experimento de quadratura (Figura 4.7), o efeito difusivo da maré neste experimento deve ter sido decisivo na intensificação dos processos de mistura e na conseqüente redução nos gradientes verticais de u e S , demonstrado claramente pelo aumento dos coeficientes de viscosidade turbulenta em relação àquele experimento.

4.1.3 - ESTAÇÃO BARRA

EXPERIMENTO DE QUADRATURA (17/02/98)

Tabela 4.10 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - Δx</i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\overline{\Delta\rho}}{\Delta x}$ (kg m ⁻⁴)	<i>Vazão</i> (m ³ s ⁻¹)
Quadratura em 19/02/98	3200	1400	19	0,000572	1600

O primeiro experimento na estação Barra de Cananéia foi realizado em fevereiro de 1998 (Bérgamo, 2000). Observou-se a presença de estratificação vertical de S em torno de 10, entre o fundo e a superfície (Figura 4.12.a). Para uma região influenciada mais diretamente pelas águas de origem oceânica, os valores de S foram relativamente baixos. Esse padrão talvez possa ser explicado pela grande descarga de água doce na época, associado ao período de quadratura, além da ocorrência de chuva no dia anterior e durante este experimento (Bérgamo, com. pessoal). Se consideradas as condições de fase lunar e de descarga fluvial em que o experimento foi realizado, pode-se dizer que foi observada uma boa variabilidade de S ao longo do ciclo de maré. Os perfis teóricos que impuseram condição de atrito máximo no fundo foram os que apresentaram melhor ajuste às condições experimentais.

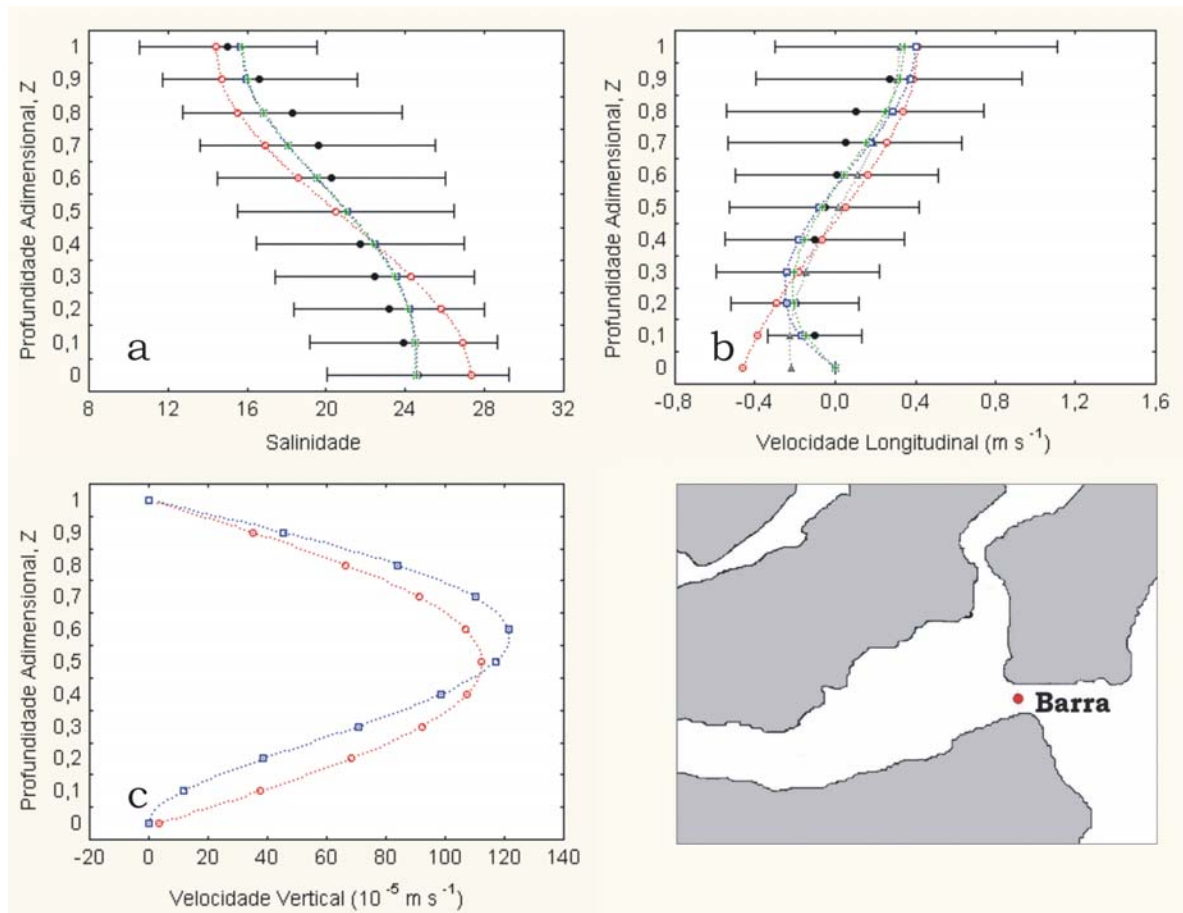


Figura 4.4 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e dos componentes longitudinal (b) e vertical (c) da velocidade às condições experimentais • na estação Barra, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) \circ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) \square sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) $+$ sem escorregamento de fundo.

Com relação à u , é importante salientar que, apenas para a estação Base de Cananéia, valores negativos de velocidade indicam movimentos em direção à Barra. Para as outras estações, os valores positivos de velocidade é que indicam movimentos em direção à Barra. Portanto, se o perfil vertical u é tipicamente constituído por circulação gravitacional, as camadas superiores indicam velocidades em direção ao oceano e as inferiores, em direção ao interior do estuário. Os valores experimentais de u são relativamente altos, forçados principalmente pelo componente baroclínico da força de gradiente de pressão o que, em outras palavras, resulta da interação entre a descarga de água doce e a maré (Figura 4.12.b). Em relação às velocidades médias estimadas, a variabilidade de u expressa através do desvio padrão é relativamente baixa. Os ajustes das soluções teóricas às condições experimentais foram realizados com sucesso.

Para que fosse mantida a continuidade da circulação gravitacional, devido ao grande cisalhamento vertical do componente u de velocidade - o maior dentre os experimentos realizados na estação Barra – onde a velocidade média de vazante foi de $0,16 \text{ m s}^{-1}$ e a de enchente foi de $0,13 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 4.12.b), foram estimados os maiores valores do componente w dentre todos os experimentos, em torno de $110 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$, independentemente da condição de contorno no fundo (Figura 4.12.c). Entre as profundidades adimensionais onde o componente u se anula, $Z=0,5$ e $Z=0,6$, é justamente onde foram simuladas as intensidades máximas para w .

Tabela 4.11 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade</i>	0,84	0,77	0,95	0,95
<i>Longitudinal</i>				
<i>Salinidade</i>	-	0,96	0,97	0,97

A velocidade experimental de fundo esteve mais próxima de uma condição sem escorregamento no fundo. Portanto, os modelos que consideraram tal condição apresentaram melhores correlações (Tabela 4.35). O mesmo aconteceu com S experimental, apesar de nesse caso uma comparação visual entre o valor teórico e o prático ilustrar melhor tal padrão.

Tabela 4.12 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta (Az), $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, e de difusão turbulenta (Kz), $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

	<i>Az – Prandle</i>	<i>Az - Miranda</i>	<i>Az – Hansen</i>	<i>Kz –</i> <i>Miranda</i>	<i>Kz – Hansen</i>
	49	56	1800	20	25

Apesar da estratificação vertical de S e do cisalhamento de u serem bem pronunciados, os coeficientes teóricos de mistura apresentaram valores relativamente altos (Tabela 4.36). Esta região de estudo é caracterizada por um aumento considerável da profundidade média (h)- de 10 m na estação Base para 20 m - que, de acordo com a Equação 2.3, é diretamente proporcional ao valor do coeficiente de viscosidade turbulenta.

EXPERIMENTO DE QUADRATURA (02/06/98)

Tabela 4.13 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

Fase Lunar	Distância - Δx (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	$\frac{\overline{\Delta\rho}}{\Delta x}$ (kg m^{-4})	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
Quadratura em 01/06/98	3200	1400	19,3	0,000825	350

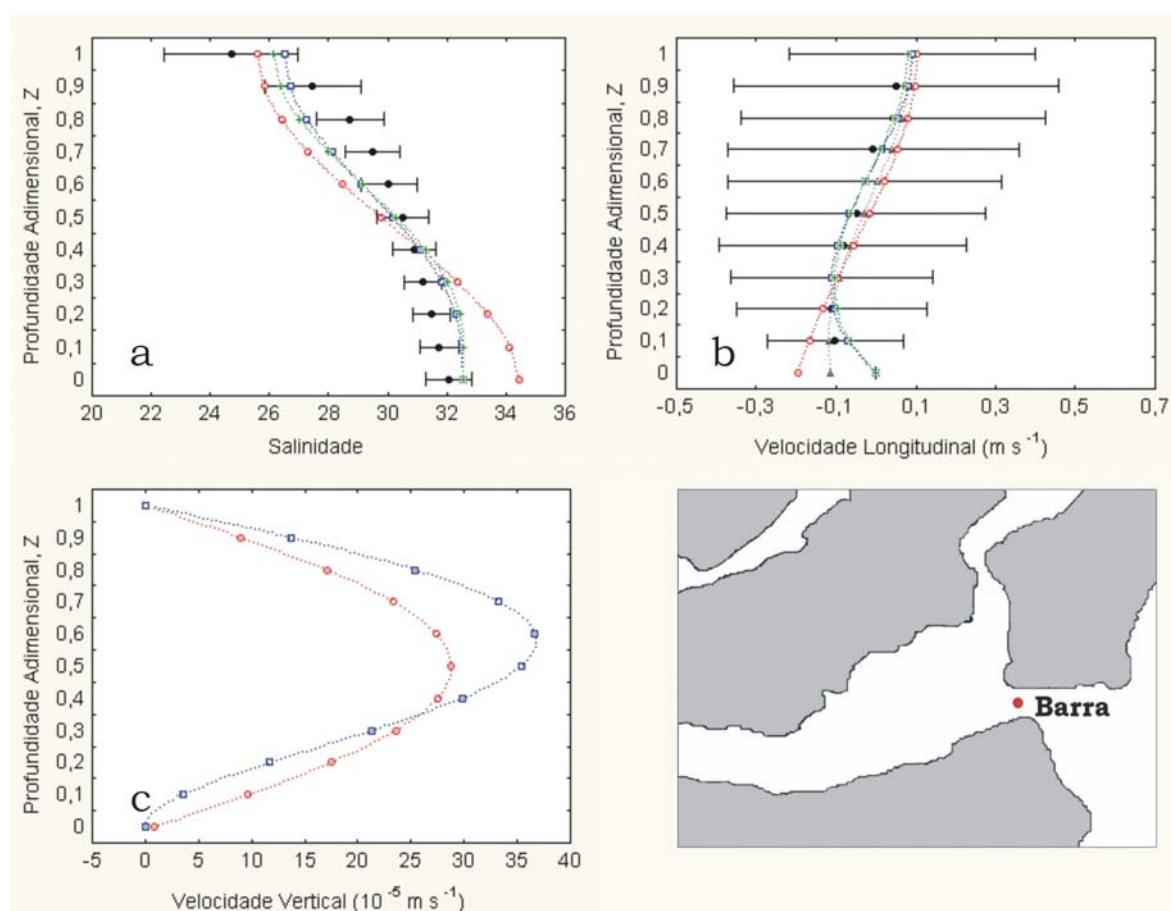


Figura 4.5 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e dos componentes longitudinal (b) e vertical (c) da velocidade às condições experimentais • na estação Barra, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) \circ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) \square sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) $+$ sem escorregamento de fundo.

A análise da Figura 4.13.a mostra que, mais uma vez, os valores experimentais de S foram superiores em relação ao experimento correspondente na estação Base (Figura 4.5.a), enquanto a estratificação vertical foi inferior, o que reforça a idéia de maior influência marinha na estação Barra. Se comparada com o experimento de

fevereiro (Figura 4.12.a), esta estação apresentou valores mais altos de S , mas uma estratificação vertical menor, o que indica que a redução na descarga de água doce interferiu diretamente na distribuição experimental de S . O desvio padrão de S indica condições de pouca variabilidade dessa propriedade ao longo do ciclo de maré amostrado. As soluções teóricas de S apresentaram-se pouco eficientes no ajuste aos dados experimentais.

Novamente a redução na estratificação vertical de S redundou em diminuição de u , que manteve a condição de movimento em duas camadas, típico de estuários parcialmente misturados ou Tipo 2 (Figura 4.13.b). As soluções teóricas de u que impuseram atrito máximo no fundo foram as que melhor se ajustaram aos perfis experimentais.

O perfil teórico de w mostra valores positivos, correspondentes a movimentos ascendentes, onde as duas soluções teóricas assemelham-se bastante (Figura 4.13.c). O relativamente menor cisalhamento de u neste experimento em relação ao anterior (Figura 4.12.c) foi representado por valores mais baixos de w .

Tabela 4.14 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (<i>c/ escorreg.</i>)	<i>Miranda</i> (<i>c/ escorreg.</i>)	<i>Fisher et al.</i> (<i>s/ escorreg.</i>)	<i>Hansen</i> (<i>s/ escorreg.</i>)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,85	0,73	0,98	0,98
<i>Salinidade</i>	-	0,87	0,90	0,91

Assim como citado anteriormente, apesar da velocidade em $Z=0,1$ ser de aproximadamente $0,1 \text{ m s}^{-1}$, os modelos que impuseram condição sem escorregamento no fundo demonstraram melhor correlação com os dados experimentais principalmente para u (Tabela 4.38).

Tabela 4.15 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta (A_z), $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, e de difusão turbulenta (K_z), $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

	<i>Az – Prandle</i>	<i>Az - Miranda</i>	<i>Az – Hansen</i>	<i>Kz – Miranda</i>	<i>Kz – Hansen</i>
	183,4	282,1	20	10	100

A redução no cisalhamento vertical de u com relação ao experimento anterior (Figura 4.12.b) foi reproduzida com um aumento nos coeficientes de viscosidade estimados pelos modelos de Prandle (1985) e Miranda (1998) e com uma redução nesse coeficiente, de acordo com o modelo de Hansen & Rattray (1965), de acordo com a Tabela 4.39. Esse padrão mostra que os modelos utilizados devem estar respondendo de diferentes maneiras a processos que são importantes no processo de mistura, mas que estão sendo desconsiderados na formulação teórica, como as ondas de gravidade.

EXPERIMENTO DE QUADRATURA (26/08/98)

Tabela 4.16 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - Δx</i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\bar{\Delta\rho}}{\Delta x}$ (kg m ⁻⁴)	<i>Vazão</i> (m ³ s ⁻¹)
Quadratura em 30/08/98	3200	1400	19,6	0,00078	150

A Barra de Cananéia é, dentre os locais descritos nesse trabalho, a estação que recebe menor influência da descarga fluvial do sistema estuarino-lagunar de Cananéia. Esse experimento foi realizado no mês de menor descarga fluvial (Tabela 1.2), de acordo com Bérghamo (2000). Essas duas características explicam o perfil experimental de S, onde os valores são altos e a estratificação vertical é pequena (Figura 4.14.a). A maior variabilidade de S esteve associada às camadas superficiais, onde a reduzida descarga fluvial interagiu com as águas marinhas. O perfil experimental de S foi bem simulado pelos modelos teóricos.

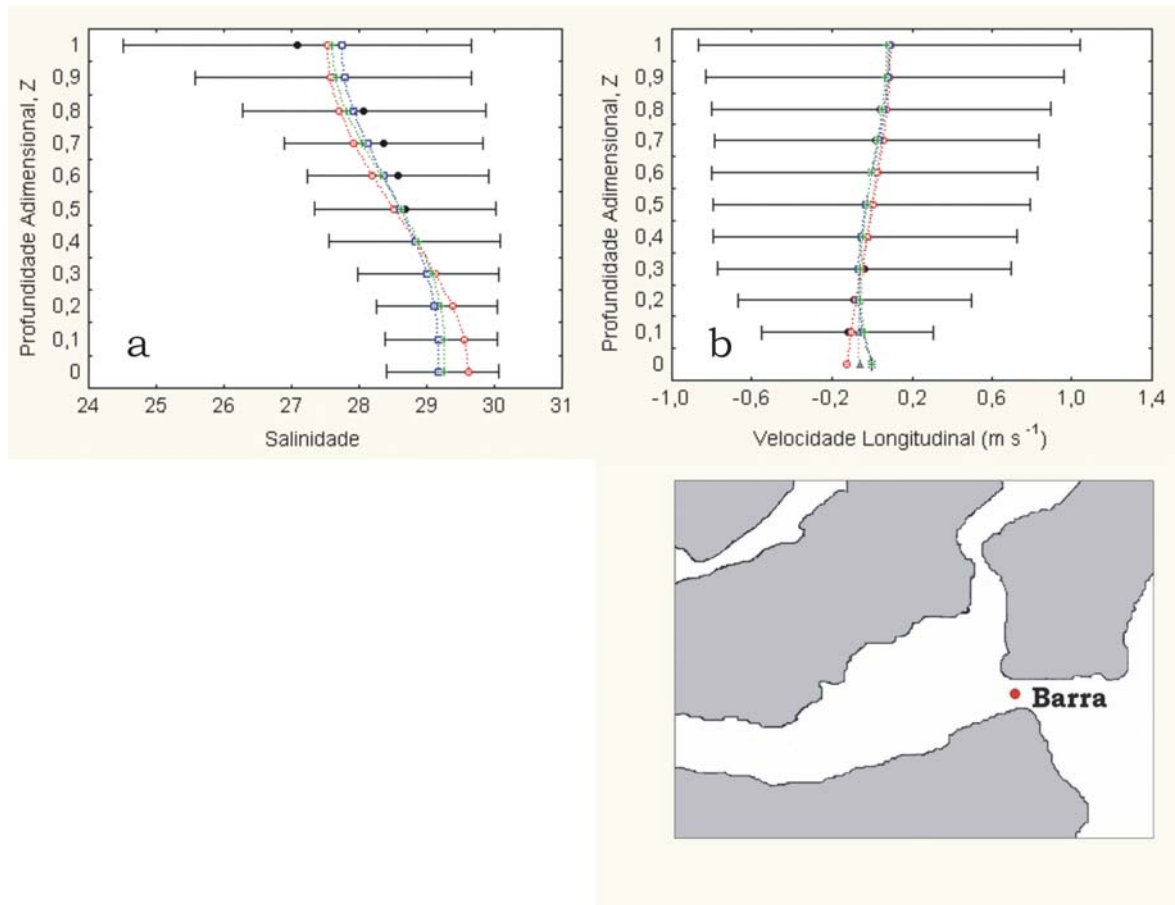


Figura 4.6 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Barra, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) \circ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) \square sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) $+$ sem escorregamento de fundo.

Em relação ao experimento anterior (Figura 4.13.b), o perfil de u correspondeu à redução na estratificação vertical de S e houve uma redução na intensidade da circulação gravitacional (Figura 4.14.b), apesar do desvio padrão de u indicar uma grande variabilidade ao longo do ciclo de maré. As soluções teóricas de u corresponderam bem às condições experimentais.

A Tabela 4.41 reforça a idéia de que os resultados teóricos corresponderam bem às características experimentais, principalmente no ajuste teórico à salinidade experimental. O aumento dos coeficientes teóricos de mistura representaram muito bem o comportamento médio experimental de u e S (Tabela 4.42).

Tabela 4.17 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade</i>	0,88	0,83	0,88	0,88
<i>Longitudinal</i>				
<i>Salinidade</i>	-	0,92	0,95	0,95

Tabela 4.18 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta (Az), $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, e de difusão turbulenta (Kz), $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

	<i>Az – Prandle</i>	<i>Az - Miranda</i>	<i>Az – Hansen</i>	<i>Kz –</i> <i>Miranda</i>	<i>Kz – Hansen</i>
	284,3	355,4	400	40	150

EXPERIMENTO DE QUADRATURA (28/10/98)

Tabela 4.19 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - Δx</i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\overline{\Delta \rho}}{\Delta x}$ (kg m^{-4})	<i>Vazão</i> ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Quadratura em 28/10/98	3200	1400	17,6	0,0012	550

O perfil de S na Figura 4.15.a indica a presença de uma haloclina bem pronunciada entre $Z=0,7$ e $Z=1$, indo de 24 a 16, respectivamente. Quando comparados os experimentos de quadratura nas estações Barra e Base (Figura 4.7.a), percebe-se que a variação foi a mesma – em torno de 12 – mas no primeiro caso a estratificação ficou entre 12 e 24, para a superfície e fundo respectivamente, enquanto neste experimento ficou entre 16 e 28, indicando grande influência de águas marinhas na estação Barra, mesmo em condições de quadratura e com aumento do aporte de água doce em relação aos experimentos de quadratura em agosto (Figuras 4.6.a e 4.14.a). Em virtude da haloclina marcante, os modelos não puderam reproduzir a contento a distribuição experimental de S. Em função do aumento da estratificação vertical de S, também houve uma intensificação nas velocidades médias em relação ao experimento anterior (Figura 4.14.b), ficando muito bem caracterizado um movimento bidirecional (Figura 4.15.b).

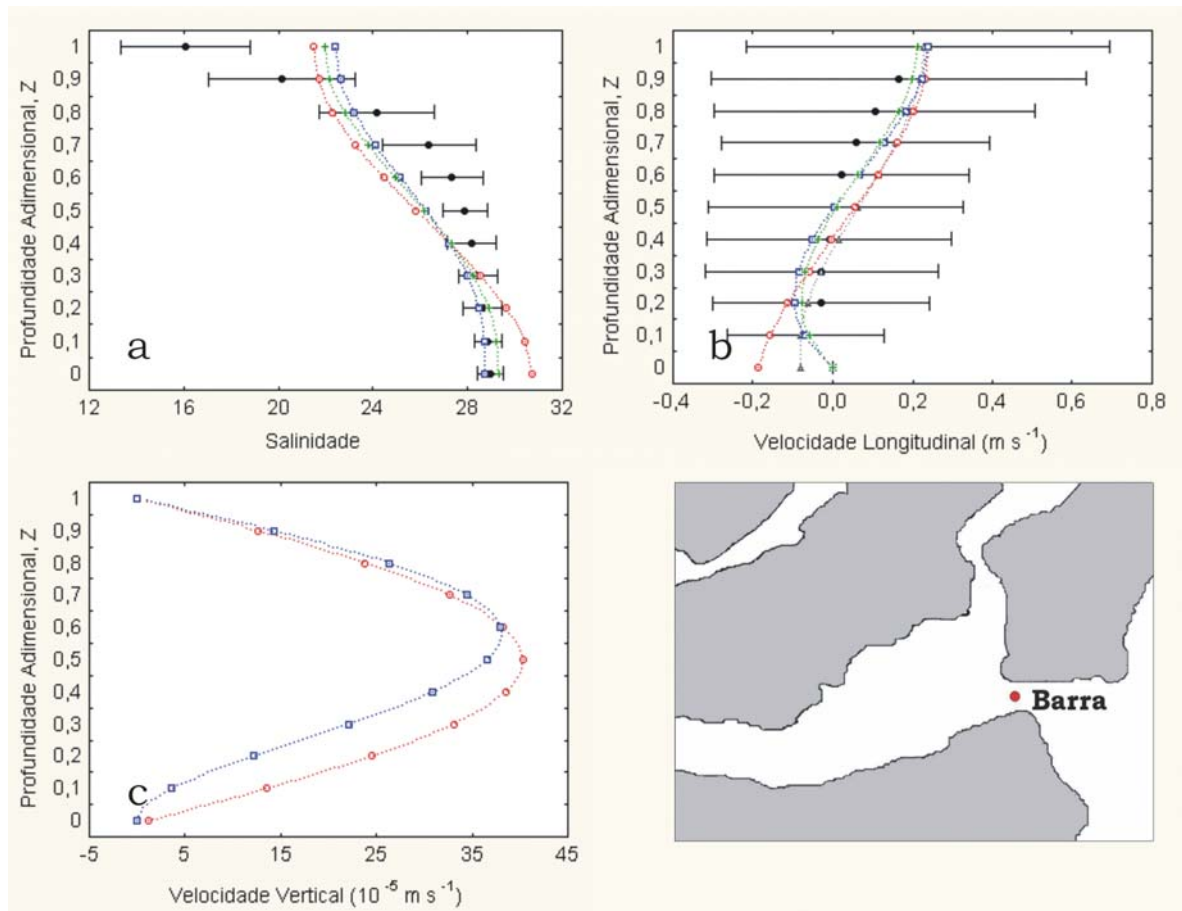


Figura 4.7 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e dos componentes longitudinal (b) e vertical (c) da velocidade às condições experimentais • na estação Barra, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) \circ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) \square sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) $+$ sem escorregamento de fundo.

O componente w da velocidade foi simulado com valores positivos pelas duas soluções (Figura 4.15.c). Nesta simulação, o cisalhamento vertical de u apresentou uma diferença entre as velocidades médias de enchente e vazante muito semelhante à do experimento de quadratura em junho (Figura 4.13.c), que foi em torno $0,13 \text{ m s}^{-1}$. Devido à essa semelhança, seriam de se esperar valores semelhantes para o componente w , o que de fato ocorreu.

Tabela 4.20 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ <i>escorreg.</i>)	<i>Miranda</i> (c/ <i>escorreg.</i>)	<i>Fisher et al.</i> (s/ <i>escorreg.</i>)	<i>Hansen</i> (s/ <i>escorreg.</i>)
<i>Velocidade</i>	0,89	0,85	0,94	0,94
<i>Longitudinal</i>				
<i>Salinidade</i>	-	0,80	0,84	0,83

Apesar de não corresponder aos ajustes visuais, as correlações entre os resultados teóricos e experimentais foram satisfatórias, em especial os ajustes de u teórico que desconsideraram escorregamento no fundo (Tabela 4.44). O considerável cisalhamento vertical de u e principalmente a presença de uma haloclina bem constituída, quase que do tipo cunha salina, inibiram a troca de momento entre as diversas camadas de água da coluna de água, expressa em uma redução dos coeficientes de mistura (Tabela 4.45) em relação ao experimento anterior (Tabela 4.42).

Tabela 4.21 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta (Az), $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, e de difusão turbulenta (Kz), $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

	<i>Az – Prandle</i>	<i>Az –</i> <i>Miranda</i>	<i>Az – Hansen</i>	<i>Kz –</i> <i>Miranda</i>	<i>Kz – Hansen</i>
	175,1	175,1	50	30	90

EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (12/02/98)

Tabela 4.22 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - Δx</i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\overline{\Delta \rho}}{\Delta x}$ (kg m^{-4})	<i>Vazão</i> ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Sizígia em 11/02/98	3200	1400	19,7	0,000182	1500

A distribuição vertical de S indica condições bem misturadas, com altos valores de S influenciados pela presença de águas marinhas (Figura 4.16.a). Quando comparada com a distribuição também em sizígia na estação Base (Figura 4.8.a), o padrão é o mesmo, sendo que naquele experimento a salinidade média foi um pouco inferior. Assim como descrito para os experimentos da estação Base, o efeito da maré parece conseguir modular o comportamento de S e u , de acordo com a fase lunar, em conjunto com a descarga de água doce. Na comparação da estratificação vertical de S

entre esse experimento e o realizado em quadratura (Figura 4.12.a), observa-se uma diferença de 1 nesse caso, enquanto na quadratura a variação foi pouco maior do que 8. Os perfis teóricos de S foram bem ajustados às condições experimentais (Tabela 4.47).

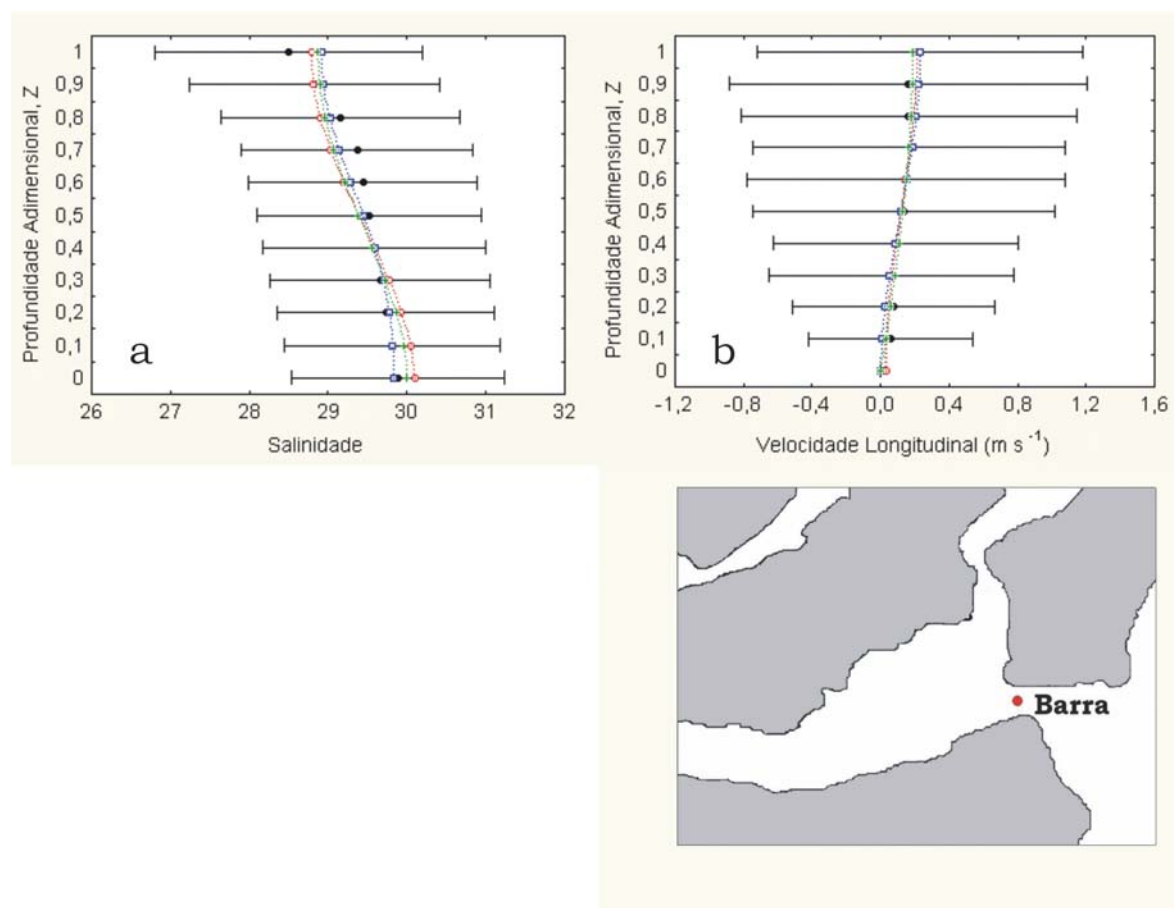


Figura 4.8 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Barra, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) \circ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) \square sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) $+$ sem escorregamento de fundo.

O reflexo dessa variação de S foi demonstrado no perfil experimental de u na Figura 4.16.b. Em quadratura (Figura 4.12.b), estabeleceu-se um padrão de circulação gravitacional; já neste experimento a pequena estratificação vertical de S, associado à grande descarga de água doce nesta época do ano, gerou movimentos em direção ao oceano, em todas as camadas da coluna de água. De acordo com Bérghamo (com. pessoal), observou-se a entrada de ventos do quadrante sudoeste, além de chuva, durante a amostragem. Tal característica pode ter atenuado u , que foi em direção ao

oceano adjacente em toda a coluna de água, com a entrada de água marinha no interior do sistema devido ao efeito do vento. Independentemente da condição de contorno no fundo, as soluções teóricas reproduziram com sucesso as condições experimentais de u e S (Tabela 4.47).

Tabela 4.23 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ <i>escorreg.</i>)	<i>Miranda</i> (c/ <i>escorreg.</i>)	<i>Fisher et al.</i> (s/ <i>escorreg.</i>)	<i>Hansen</i> (s/ <i>escorreg.</i>)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,94	0,94	0,94	0,95
<i>Salinidade</i>	-	0,90	0,92	0,89

De acordo com a Tabela 4.48, com exceção do coeficiente de viscosidade turbulenta gerado pelo modelo de Hansen & Rattray (1965), todos os outros foram superiores aos estimados para o respectivo experimento em quadratura (Tabela 4.36). Esta característica ilustra a maior eficiência do efeito difusivo da maré em promover a mistura, aumentando a intensidade dos coeficientes envolvidos, em detrimento da mistura provocada pelo padrão típico de circulação gravitacional em quadratura.

Tabela 4.24 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta (A_z), $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, e de difusão turbulenta (K_z), $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

	<i>A_z - Prandle</i>	<i>A_z - Miranda</i>	<i>A_z - Hansen</i>	<i>K_z - Miranda</i>	<i>K_z - Hansen</i>
	64,1	57	30	40	300

EXPERIMENTO DE SIZÍGIA (28/05/98)

Tabela 4.25 - Valores médios das variáveis utilizadas nos modelos.

<i>Fase Lunar</i>	<i>Distância - Δx</i> (m)	<i>Largura</i> (m)	<i>Profundidade</i> (m)	$\frac{\overline{\Delta \rho}}{\Delta x}$ (kg m^{-4})	<i>Vazão</i> ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Sizígia em 25/05/98	3200	1400	20,6	0,000845	400

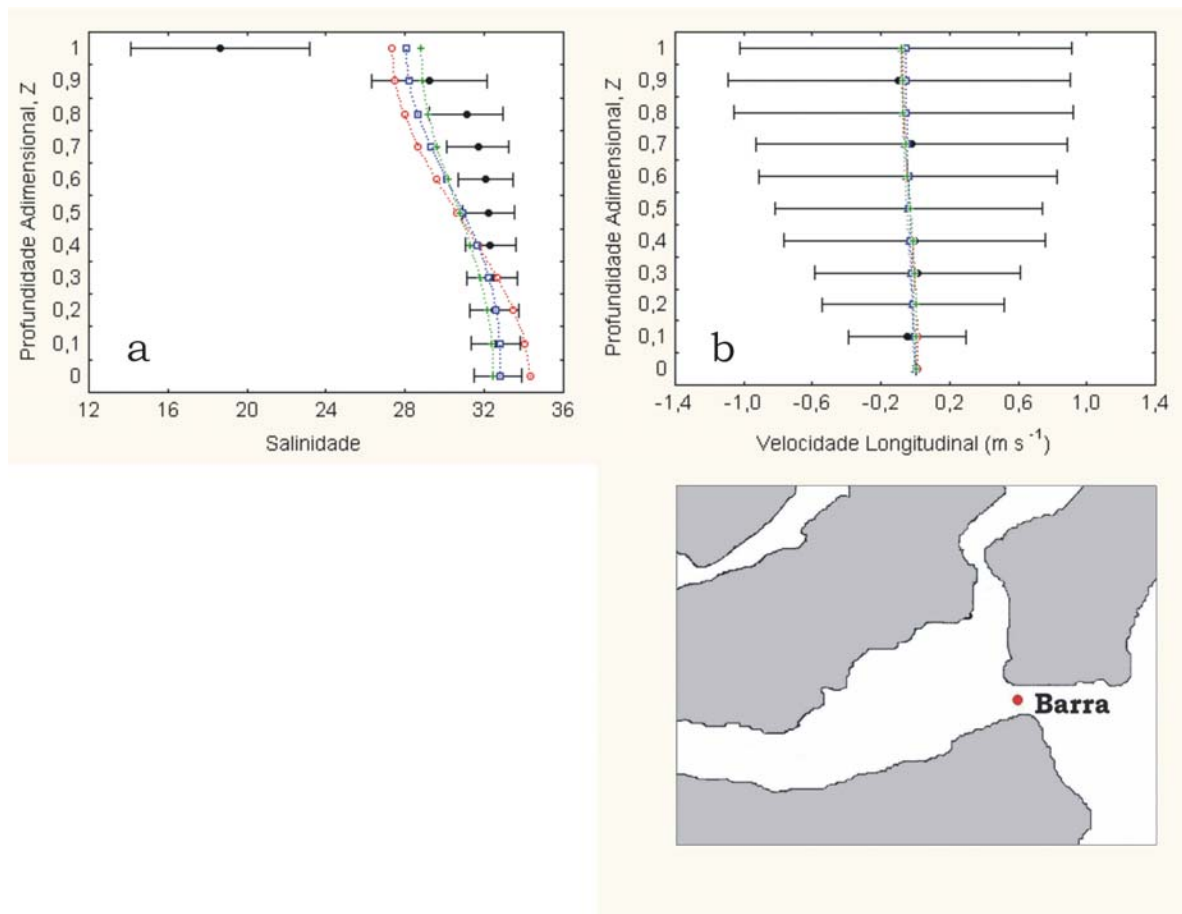


Figura 4.9 - Ajustes dos perfis teóricos de salinidade (a) e do componente longitudinal da velocidade (b) às condições experimentais • na estação Barra, a partir dos modelos de Prandle (1985) Δ com escorregamento de fundo, Miranda (1998) \circ com escorregamento no fundo, Fisher *et al.* (1972) \square sem escorregamento de fundo e Hansen & Rattray (1965) $+$ sem escorregamento de fundo.

O perfil experimental de S indica a presença de uma fina camada de água doce na superfície, pouco misturada com as camadas inferiores (Figura 4.17.a). Esse padrão é resultado da presença de uma haloclina bem evidenciada entre $Z=0,9$ e $Z=1$, onde S cai de 29 para aproximadamente 18,5, enquanto o restante da coluna de água manteve-se bem misturada graças ao efeito da maré de sizígia. A maior variabilidade de S encontra-se justamente na superfície. Em virtude de uma variação de S tão acentuada, os valores teóricos de S não reproduziram com fidelidade as condições experimentais.

Enquanto no experimento de quadratura da estação Barra (Figura 4.13.a) a estratificação vertical de S foi maior – a variação de S foi de 25 a 32 – no experimento

de sizígia da estação Base (Figura 4.9.a) o que ocorreu foi bastante semelhante ao descrito neste caso, onde a variação de S entre o fundo e a superfície foi de aproximadamente 12 unidades.

A diferença entre S em superfície e nas camadas inferiores não foi suficiente para influenciar significativamente o componente baroclínico da força de gradiente de pressão. Apesar da grande variabilidade de u ao longo do ciclo de maré, o resultado foi um perfil experimental com as menores diferenças entre seus extremos, dentre todos os experimentos realizados na estação Barra (Figura 4.17.b). A média espaço-temporal de u indicou movimento em direção ao interior do sistema estuarino. Visualmente, os resultados teóricos parecem ter se adaptado às condições experimentais. Entretanto, as correlações estatísticas de u , entre teoria e experimentação, ficaram próximas ao limite mínimo de significância, 0,6 (Tabela 4.50).

Apesar do gradiente vertical de S indicar condições parcialmente misturadas, de acordo com a classificação de Pritchard (1989), o componente w não foi estimado em função do perfil de S assemelhar-se a uma condição típica de cunha salina - que também não é simulada teoricamente pela formulação utilizada neste trabalho - pois a coluna de água é caracterizada por uma grande homogeneidade (S em torno de 32), com exceção de uma delgada camada superficial de água mais doce.

Tabela 4.26 - Correlações entre os resultados experimentais e teóricos com nível de significância de 0,95.

	<i>Prandle</i> (c/ escorreg.)	<i>Miranda</i> (c/ escorreg.)	<i>Fisher et al.</i> (s/ escorreg.)	<i>Hansen</i> (s/ escorreg.)
<i>Velocidade Longitudinal</i>	0,68	0,71	0,66	0,74
<i>Salinidade</i>	-	0,58	0,63	0,60

Os motivos das baixas correlações entre os perfis teóricos e experimentais são: para u , a grande variabilidade nos baixos valores médios dessa propriedade ao longo da coluna de água; para S , a presença de uma haloclina bem pronunciada próximo à

superfície – característica de estuários tipo cunha salina – o que prejudicou um ajuste teórico mais refinado às condições experimentais (Tabela 4.50).

Tabela 4.27 - Valores teóricos dos coeficientes cinemáticos de viscosidade turbulenta (Az), $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, e de difusão turbulenta (Kz), $10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

<i>Az – Prandle</i>	<i>Az - Miranda</i>	<i>Az – Hansen</i>	<i>Kz – Miranda</i>	<i>Kz – Hansen</i>
1311,5	728,6	20	9	500

Mais uma vez, o efeito da maré foi muito eficiente na magnificação dos processos de mistura, apesar do padrão cunha salina observado em superfície (Figura 4.17.a). Entretanto, o fato do coeficiente de viscosidade turbulenta do modelo de Hansen & Rattray (1965) não ter apresentado mudança numérica entre os dois experimentos (Tabela 4.36) indica que tal modelo não apresentou sensibilidade para representar condições hidrodinâmicas tão distintas.

