

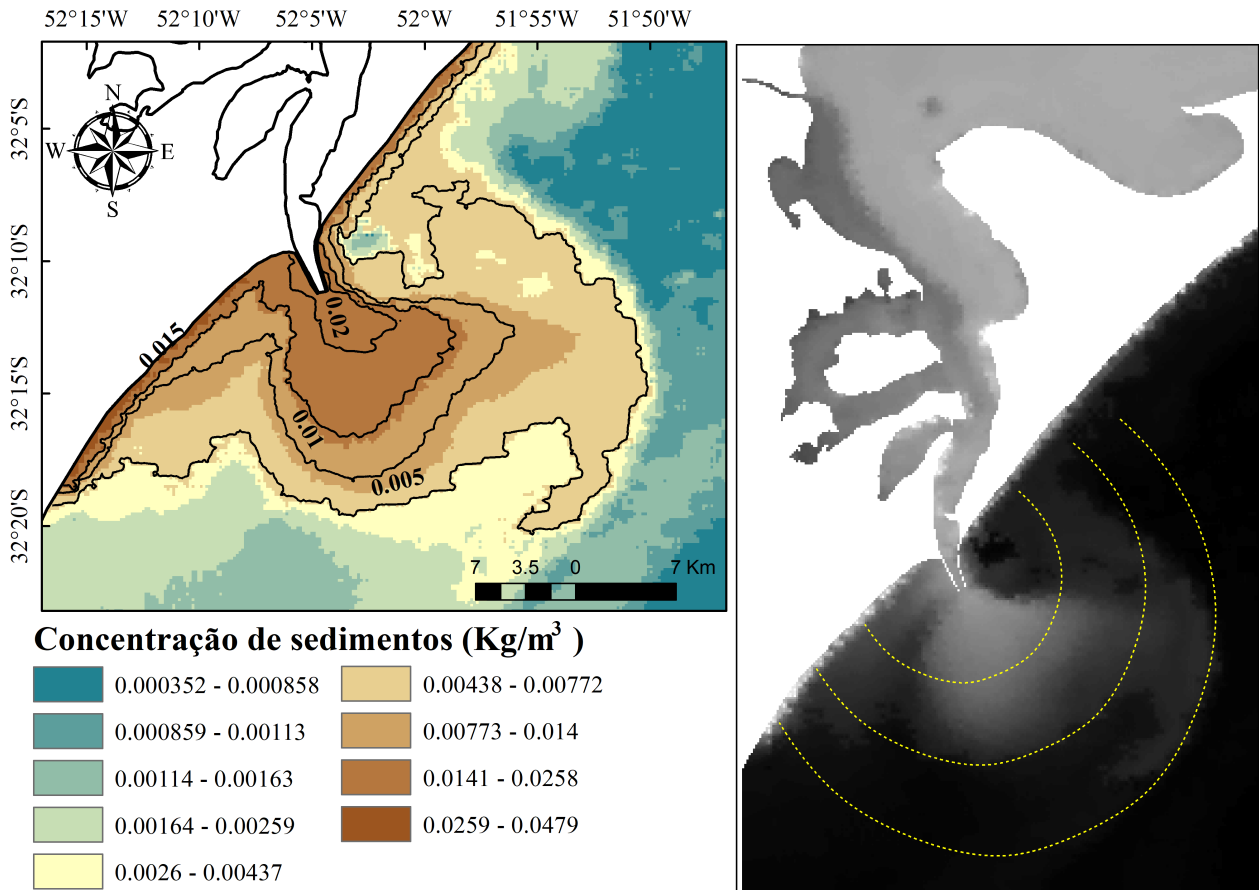


Figura 4.10 – Pluma sedimentar- 29 de Novembro de 2009.

4.1.5. Comportamento e mistura da pluma no complexo Patos-Mirim

O comportamento da pluma no CSG está intimamente relacionado ao regime de ventos encontrados na região em diferentes estações. De maneira geral, o que se observa é uma evolução da pluma em direção ao alto estuário durante o Inverno e Primavera (sobretudo de Junho a Agosto), seguido de reduções acentuadas na contribuição sólida, muitas vezes sendo imperceptível a participação da pluma proveniente do canal. Um exemplo do padrão anual de evolução da pluma para o ano de 2011 é observado na figura 4.11, descrito através de *snapshots* que demonstram as características que a pluma pode assumir em dias específicos para o referido mês.

Este padrão comportamental está relacionado à distribuição de ventos (Fig.4.12), que posteriormente interferem no processo de mistura da pluma no estuário. O aumento da intensidade dos ventos NE (mais comuns no inverno) favorecem a elevação de campos distantes da pluma, e denotam regiões de mistura em regiões além dos limites pertencentes ao alto estuário.

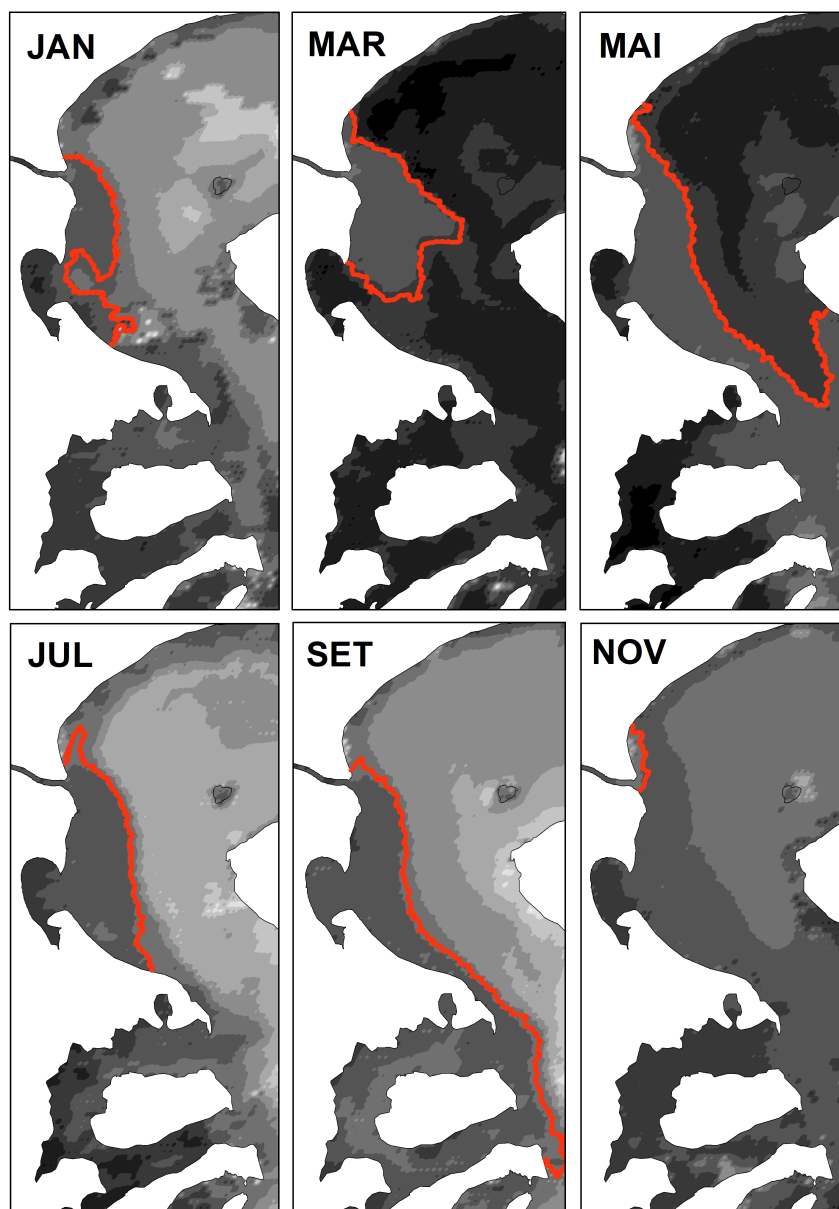


Figura 4.11 – Comportamento da pluma no CSG para os dias 09 de Janeiro, 06 de Março, 09 de Maio, 04 de Julho, 06 de Setembro e 25 de Novembro de 2010.

Para classificação morfológica das plumas se utilizou critérios de forma descritos em Horner-Devine et al. (2015). Durante o período estudado, houve prevalência de 03 categorias de plumas: do tipo estuário largo, prototípica e de entrada angular, sobretudo para 2009/2010. Para o ano de 2011 se encontra o registro de maior variedade de plumas, sendo verificadas plumas do tipo não-rotacionais e pluma de influência de água doce, esta última, descrita pelos já mencionados autores, como uma categoria que apresenta maior interação de fundo (Fig.4.13).

Estacionalmente, no Inverno e Primavera existe prevalência de plumas prototípicas e estuário largo. Em contrapartida, no verão e outono existe maior número de plumas de entrada angular. Nos meses de Junho e Julho são maiores as formações de plumas prototípicas, possivelmente resultantes de maior contribuição da vazão associadas a ventos oeste. Evidencia-se também a influência dos ventos geostróficos, atuando horizontalmente nas plumas do baixo

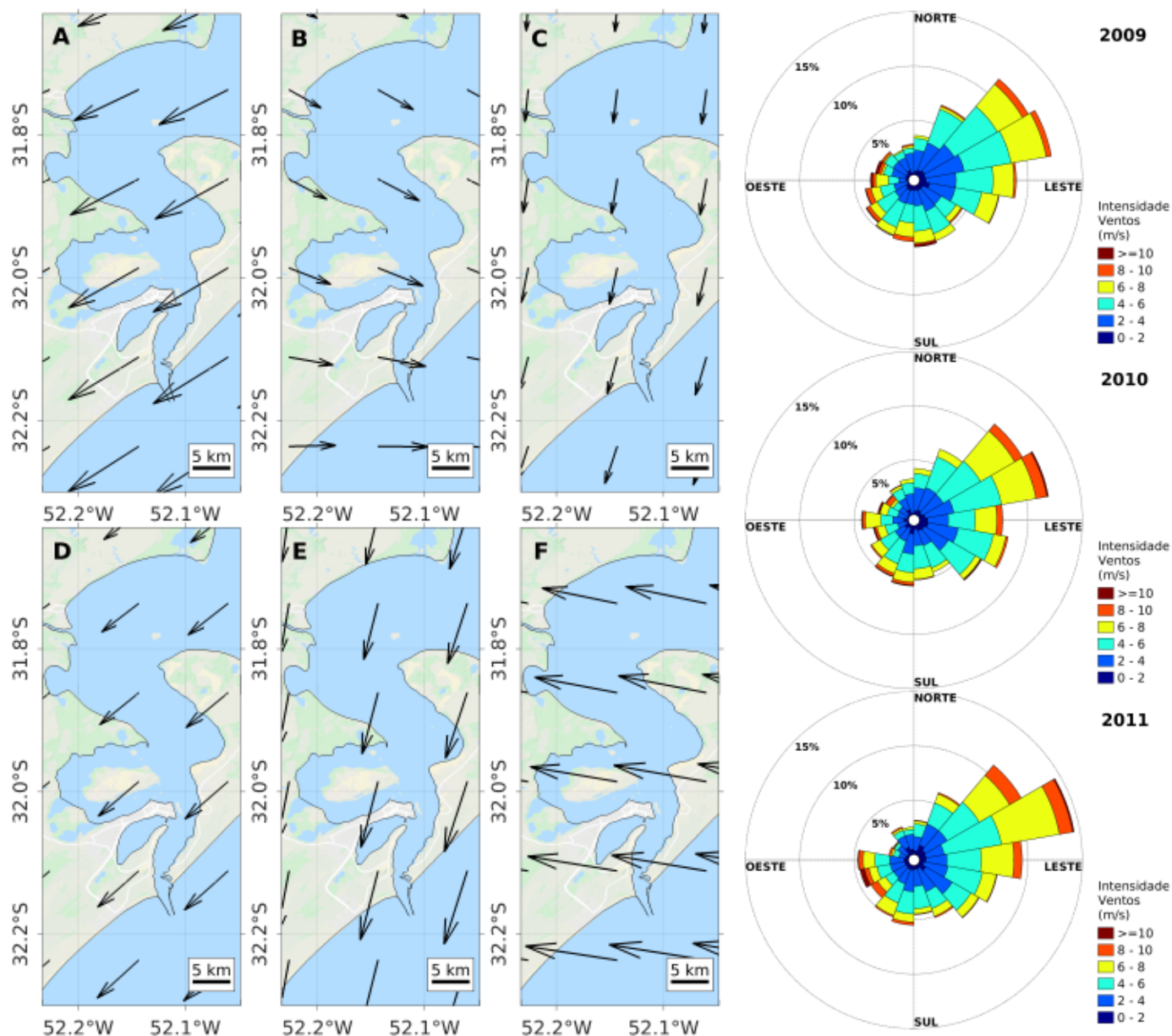


Figura 4.12 – Intensidade e direção dos ventos.

Onde: A, B, C, D, E e F correspondem à direção dos ventos para as datas mencionadas na figura 4.11, e à direita as intensidades dos ventos para 2009-2011.

estuário, que resulta no equilíbrio entre gradiente de pressão e força de Coriolis (Fig.4.14). O efeito é um leve desvio da pluma para a esquerda de sua região de frente e estabilização perpendicular à linha de costa.

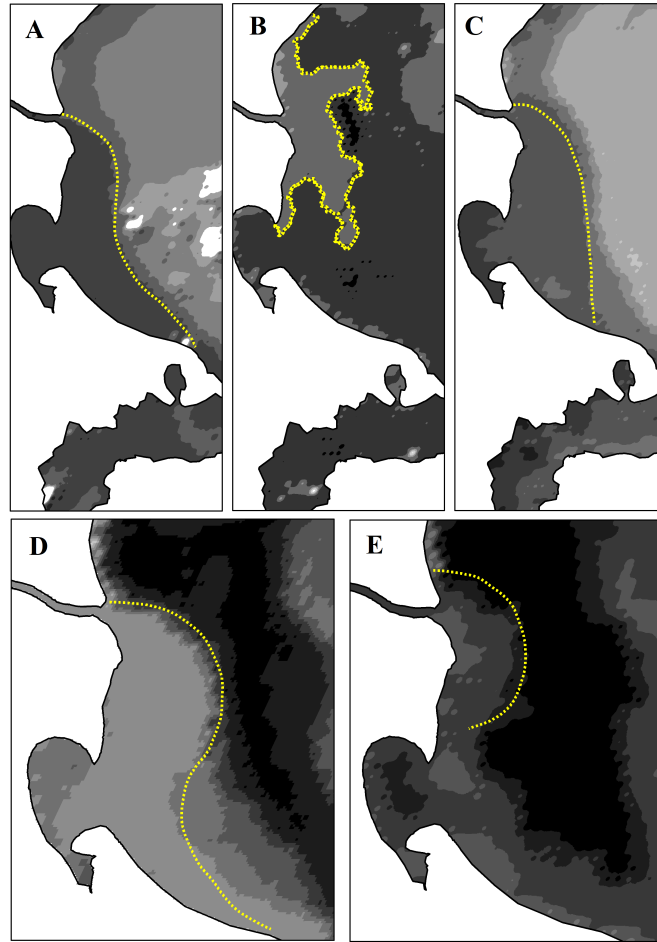


Figura 4.13 – Morfologia de plumas encontradas no CSG.

Onde: A-14/09/2009 (Largo estuário), B-30/03/2011 (Influência de água doce), C- 09/05/2010 (Angular), D-29/08/2009 (Prototípica), E-02/06/2011 (Não rotacional).

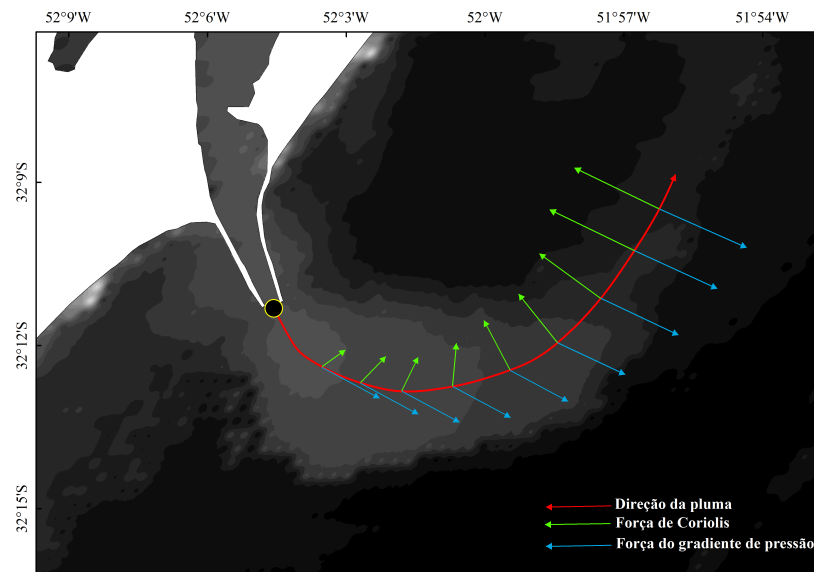


Figura 4.14 – Pluma em equilíbrio geostrófico.

Os processos de mistura entre a pluma proveniente do CSG e a pluma presente no alto estuário da LP ainda são pouco estudados. A mistura da pluma superficial do CSG observada utilizando a técnica *spectral slice*, aplicada dentro da plataforma do GEE, permitiu o realce de regiões opticamente uniformes, as quais apresentavam características menos marcantes que as observadas no CSG e a pluma proveniente das porções acima do alto estuário da LP. Esta análise permitiu observar que a mistura da pluma, de maneira geral, está situada especialmente no médio e baixo estuário da LP, variando sazonalmente em função das descargas oriundas do canal e direção dos ventos, que influenciam nas correntes superficiais. Na figura 4.15 é possível observar, marcado em magenta, as regiões de mistura entre a pluma do canal e as águas provenientes do alto estuário da LP ao longo do ano de 2009.

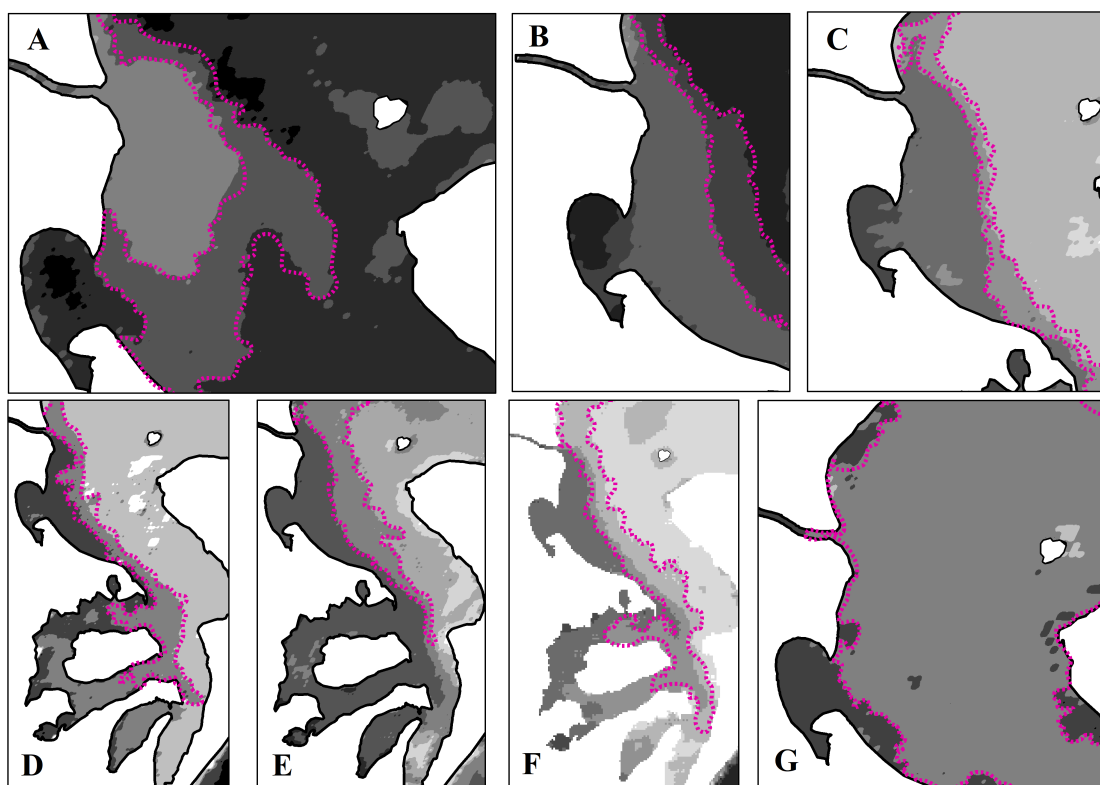


Figura 4.15 – Regiões de mistura da pluma do CSG.

Onde: A- 07/04/2009, B- 17/05/2009, C- 04/07/2009, D- 13/08/2009, E- 22/09/2009, F- 08/10/2009 e G 03/12/2009.

As zonas de mistura estão em constante deslocamento. Contudo, entre o inverno e primavera, estas se encontram essencialmente no médio e baixo estuário, nos campos médios e distantes da pluma. Durante o verão e o outono é observado outro padrão predominante, onde a mistura ocorre nas regiões do alto e médio estuário. Esta configuração é resultante da baixa vazão do canal associada aos ventos sul e sudeste mais intensos neste período. Nesta situação, as misturas são verificadas nas regiões de campo próximo e algumas vezes não podem ser identificadas, pela baixa contribuição sedimentar da pluma do CSG. No ano de 2010 foi possível distinguir mais facilmente as plumas do CSG, e as zonas de mistura se concentraram essencialmente no baixo estuário. A elevada mistura nas regiões de baixo e médio estuário

podem estar ligadas ao regime sinótico intenso nestas regiões.

4.1.6. Discussão

No presente estudo, foi possível observar que, o CSG oferece baixas contribuições sedimentares nos meses de Janeiro e Dezembro (Verão), quando foram registrados os menores índices de reflectância. Também foi possível observar que, em Janeiro, a pluma superficial proveniente do canal se dispersa principalmente na região do alto estuário da LP, levada sobretudo pela ação dos ventos.

As demonstrações de alterações nas configurações atmosféricas globais observadas na figura 4.2, presumem variações nos regimes de descarga e chuvas e, por consequência, alterações na descarga sólida local. Estas idéias são reforçadas quando se observam estudos realizados por Hirata et al. (2010) e Oliveira et al. (2015), os quais destacam que mudanças nos padrões de circulação atmosférica estão intimamente relacionadas à variações no processo de descarga sólida na região do complexo Patos-Mirim, sobretudo ligadas aos eventos ENOS, que contribuem significativamente para modificações na hidrodinâmica e nas condições sinóticas locais e se associam à mudanças de longo período dentro do complexo. Em Hirata et al. (2010) os autores destacam ainda que, na região da LP as ocorrências de *El Niño* geram alterações significativas nos padrões de precipitação e temperatura e seus efeitos podem ser diversos nas regiões de costa.

O polinômio para estimativas de CSS utilizando informações de reflectância foi coerente quando comparados aos resultados encontrados na literatura, a exemplo dos encontrados em Tavora et al. (2019) que utilizou imagens do mesmo sensor para quantificar a carga sedimentar ao longo da LP. As cargas sedimentares oriundas do CSG foram maiores entre o Inverno e Primavera, corroborando com dados descritos por Tavora et al. (2019), em estudo que buscava identificar a influência de ventos e descargas na concentração sedimentar na LP através de imagens do sensor MODIS, indicou que a média de concentrações em regiões próximas ao CSG atingem 16 g/m^3 (correspondente à $0,016 \text{ kg/m}^3$) podendo variar estacionalmente ou em períodos de anomalias atmosféricas. O estudo ainda descreve a existência de variabilidades interanuais da concentração sedimentar na região costeira, evidentes principalmente em 2010 e 2011, interferindo na dinâmica da pluma costeira da LP, demonstrando que a hidrodinâmica regional é influenciada pela circulação atmosférica global e interage com a descarga sólida no estuário da LP.

As figuras 4.6, 4.7 e 4.8 demonstraram que em 2010 se encontram as maiores concentrações de CSS registradas para o estuário, que podem ser explicadas pela alta descarga em direção ao estuário da laguna, resultante de mudanças na configuração atmosférica em períodos de anomalias atmosféricas. Estas colocações são fundamentadas por resultados observados em Moller et al. (2001), o qual descreve que a circulação na LP é controlada por ações eólicas e as componentes zonais de ventos apresentam papel importante nas descargas, em períodos de anomalias, existem modificações na circulação local.

As informações encontradas nas imagens referidas no parágrafo anterior ainda reforçam ideias propostas por Andrade et al. (2015), em estudo que objetivava avaliar as contribuições realizadas pelos sólidos suspensos na região da Lagoa dos Patos através de imagens de satélite. Na pesquisa, os autores observaram que os menores índices de concentração obtidos pela reflexão de CSS são observados no período de Dezembro a Fevereiro se comparados aos meses que compõem o Inverno e a Primavera. Os autores descreveram ainda que os ventos em direção nordeste forçam os sedimentos para a saída do estuário, podendo provocar mudanças de nível no eixo da lagoa.

Para Hirata et al. (2010), as variações sinóticas e alterações na circulação geral da atmosfera, pode favorecer uma alta contribuição dos tributários na região da LM, e colaborar para elevações no nível da lagoa, principalmente em eventos de *El Niño*. Estas colocações sugerem que a descarga sólida registrada no CSG, principalmente para o ano de 2010, descritas na figura 4.6 condizem com o padrão comportamental dos sedimentos em suspensão na região.

Desta forma a concentração de sólidos para a formação de plumas apresenta um caráter oscilante anualmente, conforme descrito por Soares e Moller (2001), em estudo que buscava verificar a variação de plumas na plataforma continental sul, e identificaram que existem um alto fluxo de água doce proveniente da lagoa dos Patos em direção à plataforma que culmina em formação de plumas densas, principalmente no período do Inverno e Primavera.

Os resultados encontrados para o CSG no presente estudo, estão de acordo com os padrões observados por Hartmann e Harkot (1990), que observaram em seus estudos que existem variações de concentração no CSG, como reflexo de variações meteorológicas abruptas, onde alterações climáticas, como o surgimento de tempestades ou diferentes anomalias, podem resultar no processo de ressuspensão sedimentar que faz com que os sólidos em suspensão variem dentro de uma mesma estação.

Relacionado ao comportamento e mistura da pluma, estas estão inteiramente sujeitas à contribuição do CSG para o estuário que, por sua vez, está ligado ao regime de vazão dentro do complexo, desta forma se verificou zonas de mistura mais distantes da desembocadura do CSG no Inverno, e campos de mistura reduzidos, muitas vezes inexistentes, durante o verão. Isto reforça ideias expostas em Moller e Fernandes (2010), que atribui o período de Novembro a Abril como os meses de descargas fluviais abaixo da média, contrapondo as maiores descargas registradas de Maio a Outubro.

As regiões de mistura são altamente mutáveis e se concentram em maioria no baixo estuário, favorecidas sobretudo pela atuação local dos ventos. Fernandes et al. (2004), em estudo que buscava entender as atenuações de marés no estuário da LP, descrevem que as misturas estão associadas à fortes correntes superficiais que ocorrem em locais próximas aos molhes, em função do estreitamento da lagoa. Estas colocações reforçam ideias expostas por Horner-Devine et al. (2015), que descreve o comportamento dos ventos como variável fundamental no processo de mistura de plumas superficiais, principalmente por ação de turbulência em áreas de maior energia, como o campo próximo e frente da pluma.

De maneira geral, o algoritmo conseguiu representar bem o padrão de distribuição sedi-

mentar para a LP, e as informações verificadas foram coerentes quando comparadas à estudos anteriores. Contudo, se ressalta algumas limitações em alguns produtos gerados o modelo encontrado, que podem não representar a realidade comumente observada na área de estudo. Estes padrões podem ser resultantes de condições anormais aliadas à baixa resolução espacial (pixels de 500 m) do satélite utilizado para elaboração do modelo sedimentológico.

Em ambientes marinhos e oceânicos, por conta da elevada escala espacial, o uso de dados de baixa resolução espacial e elevada resolução espectral como bases de informação, possuem relativa importância. Neste estudo, ficou evidente o papel desempenhado pelos agentes abióticos influenciando sobremaneira na formação de plumas fluviais no sistema Patos-Mirim, sendo nítida a variação intensa da concentração de sedimentos mesmo dentro de uma mesma estação no CSG.

A pesquisa encontrou evidências satisfatórias e condizentes com informações descritas no estado da arte para taxas médias de sólidos suspensos, porém, vale ressaltar a realização de análises mais aprofundadas, e o aumento do número de informações orbitais para o aprimoramento da série temporal de CSS, visando comprovação efetiva dos modelos de transformação *rasters*, na geração de algoritmos regionais.

4.2. TRANSPORTE DE PROPRIEDADES EM SUSPENSÃO (2009-2011)

4.2.1. Validação do modelo hidrodinâmico

A validação do resultado hidrodinâmico gerado pelo TELEMAC-3D foi realizada através de uma simulação para o ano de 2011 com passo salvamento horário dos resultados do modelo, para 170 dias simulados. Posteriormente essas informações foram comparadas com dados obtidos *in loco* para o mesmo período, utilizando a intensidade de corrente como variável principal, onde os dados de campo apresentavam a mesma resolução temporal do salvamento do modelo, i.e. dados em resolução horária (Fig. 4.16).

Os indicadores estatísticos utilizados para identificar a qualidade do modelo na reprodução das condições ambientais reais apresentaram resultados satisfatórios. O índice de concordância (IC) mostrou valores iguais a 0.82, comprovando a alta capacidade do modelo na representação de campo. A raiz do erro quadrático médio calculado entre as informações medidas e observadas foi 0.28 m.s^{-1} , indicando que o modelo foi capaz de manter o padrão de velocidade, e a resposta encontrada no cálculo do erro absoluto médio (0.23) reforça tendências expostas para valores de RMSE.

Estas informações são coerentes com valores encontrados por Kirinus (2017), em estudo que visava avaliar a conversão de energia cinética de ondas em energia elétrica na plataforma sul brasileira utilizando o modelo TELEMAC-3D. Os autores utilizaram os mesmos indicadores estatísticos para dados de velocidade de corrente, encontrando valores de RMSE (0.27 m.s^{-1}) e índice de concordância de 0.79, concluindo que os valores foram capazes de expressar de

maneira eficiente a precisão do modelo numérico. Sendo assim, após análise dos indicadores de qualificação de medidas, se conclui que as informações encontradas nos testes de validação do presente estudo indicam boa reprodutibilidade do modelo na representação da velocidade de corrente na região estuarina da LP.

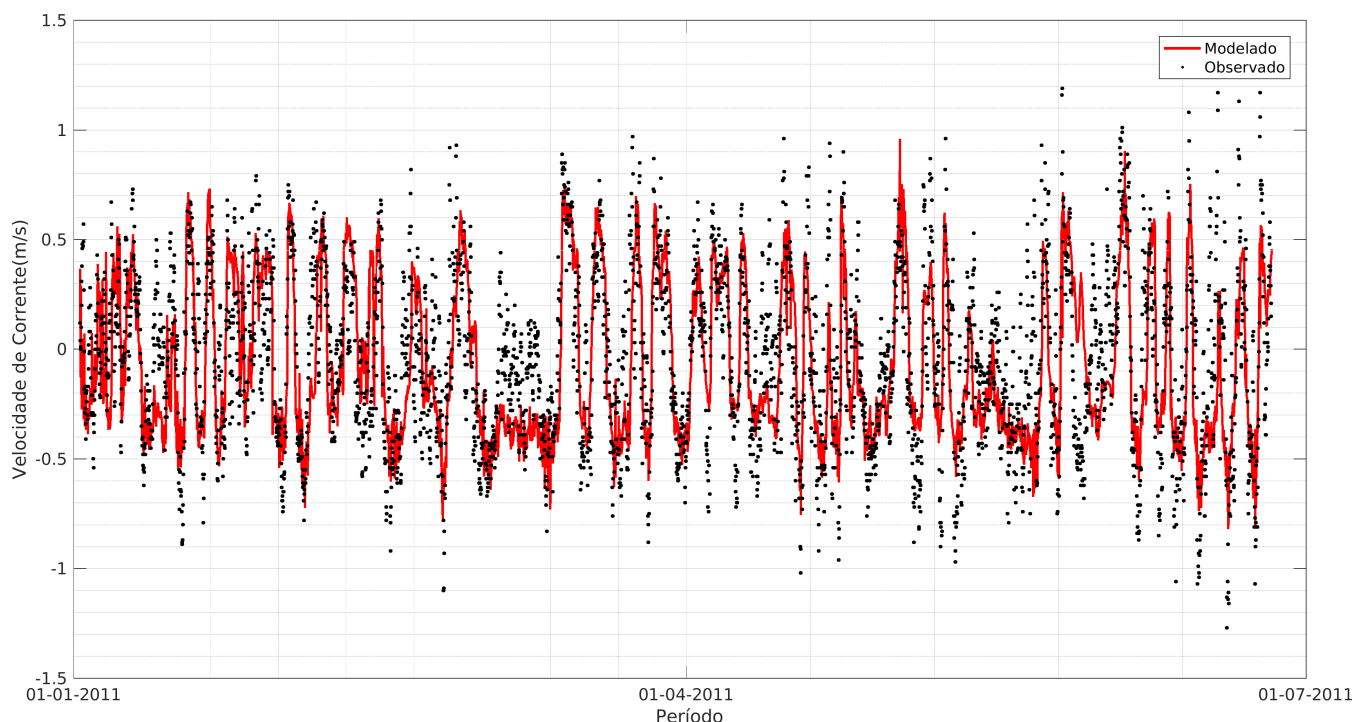


Figura 4.16 – Relação entre os valores medidos e corrente estimada.

4.2.2. Hidrodinâmica do complexo Patos-Mirim e transporte sedimentar

Para analisar a hidrodinâmica e o comportamento da pluma no CSG e estuário da LP, foram utilizados campos médios de elevação da superfície livre, campos de velocidade e de concentração sedimentar para os diferentes períodos estudados. O transporte de propriedades na região entre o Verão/Outono de 2009-2011, submetidas a diferentes condições atmosféricas ocorreram de maneira diferenciada, sendo observada intensa participação dos ventos SO entre Fevereiro e Março de 2010, denotando que o estuário da LP sofre ação de fatores meteorológicos.

A interação entre o material proveniente da LM e os componentes presentes na LP ocorre em períodos distintos, onde, no primeiro período simulado as propriedades chegam à jusante do CSG no dia 21/04/2009, na segunda simulação a interação entre o material proveniente da LM e o material presente na LP ocorre no dia 17/04/2010 e na simulação de 2011 o material proveniente da LM alcança a jusante do canal no dia 23/04. As médias de concentrações também apresentaram modificações nestas diferentes condições (Fig.4.17), caracterizando a importância das forçantes atmosféricas, sobretudo interferindo no regime sinótico, no processo de transporte sedimentar no CSG. Deste modo, se presume que a dinâmica regional de material em suspensão é controlada essencialmente pela ação dos ventos, que posteriormente condicionam as trocas de material entre a LP e a região costeira adjacente, informação verificada quando se analisa os

campos de nível e correntes no estuário.

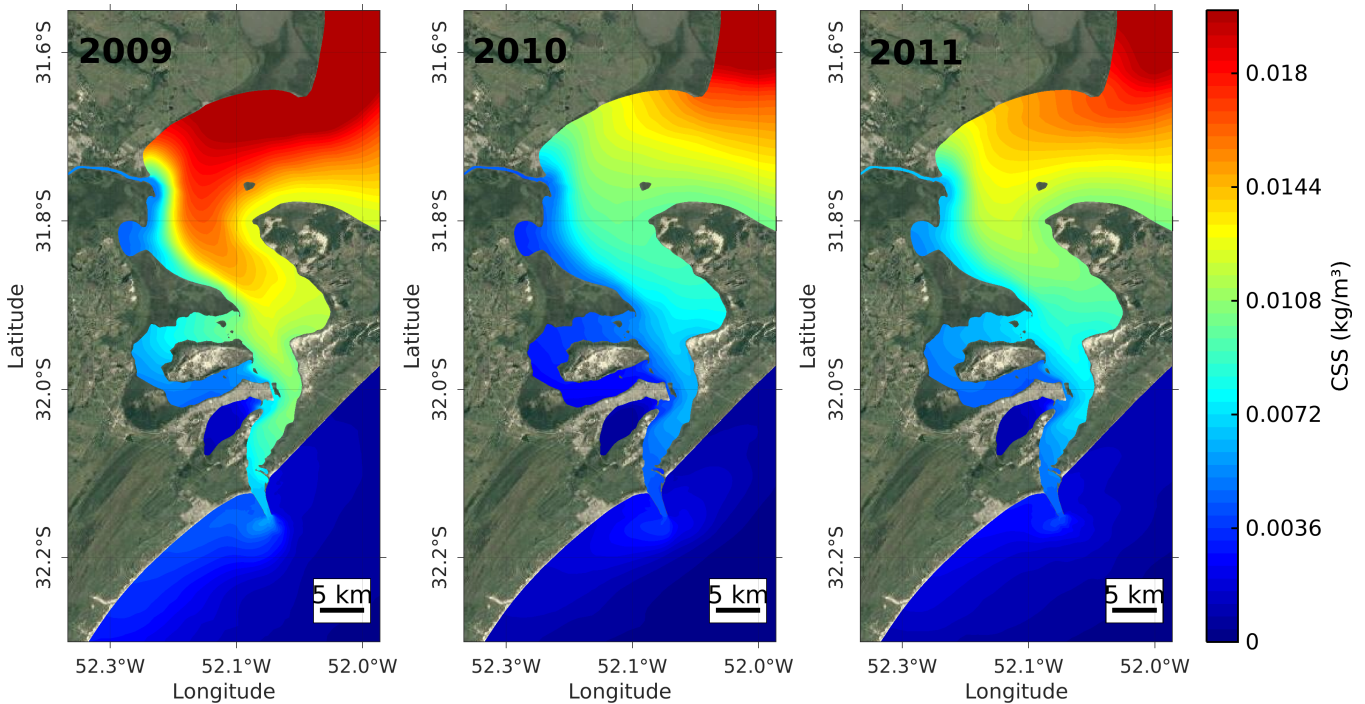


Figura 4.17 – Campos médios de CSS(kg/m³) para 2009-2011.

A contribuição sedimentar do CSG mostra-se baixa quando comparada ao restante da laguna, sobretudo ao alto estuário. A tendência do comportamento da pluma proveniente do canal é de se concentrar na margem oeste da LP, ressaltando a importância da ação dos ventos na alteração superficial deste padrão. A estratificação sedimentar no canal é baixa em todos os anos simulados, contudo, o comportamento horizontal varia em função das variações nas forçantes atmosféricas utilizadas em cada simulação.

Dinâmica de ventos no complexo Patos-Mirim

O estudo da dinâmica de ventos foi essencial para o processo de entendimento do comportamento hidrodinâmico no estuário da LP. Se observou predominância mensal dos ventos de NE atuando na laguna, que contribuem para o espalhamento local do material proveniente do CSG em direção ao estuário. Na figura 4.18 é possível observar os campos médios de intensidade do vento para os diferentes períodos simulados, onde as maiores diferenças se encontram na região oceânica para o ano de 2009 em comparação aos demais períodos.

A contribuição dos ventos na circulação da pluma do CSG interage fortemente com os efeitos remotos que atuam na plataforma sul, estes posteriormente interagem com outras forçantes consideradas pelo modelo (condições atmosféricas e oceânicas) em escala local. A consequência usual decorrente destas interações são implicações na movimentação na pluma no quadrante sul da zona costeira, principalmente no Verão.

Tais implicações na movimentação da pluma podem ser atribuídas a alterações atmosféricas verificadas no quadrante norte, que apresentam relações de causa-efeito sobre as correntes

superficiais dentro do estuário da LP, e posteriormente condicionam a estratificação e mistura da pluma. Sendo assim, se supõe que o padrão de movimentação de correntes está intimamente relacionado às condições sinóticas locais.

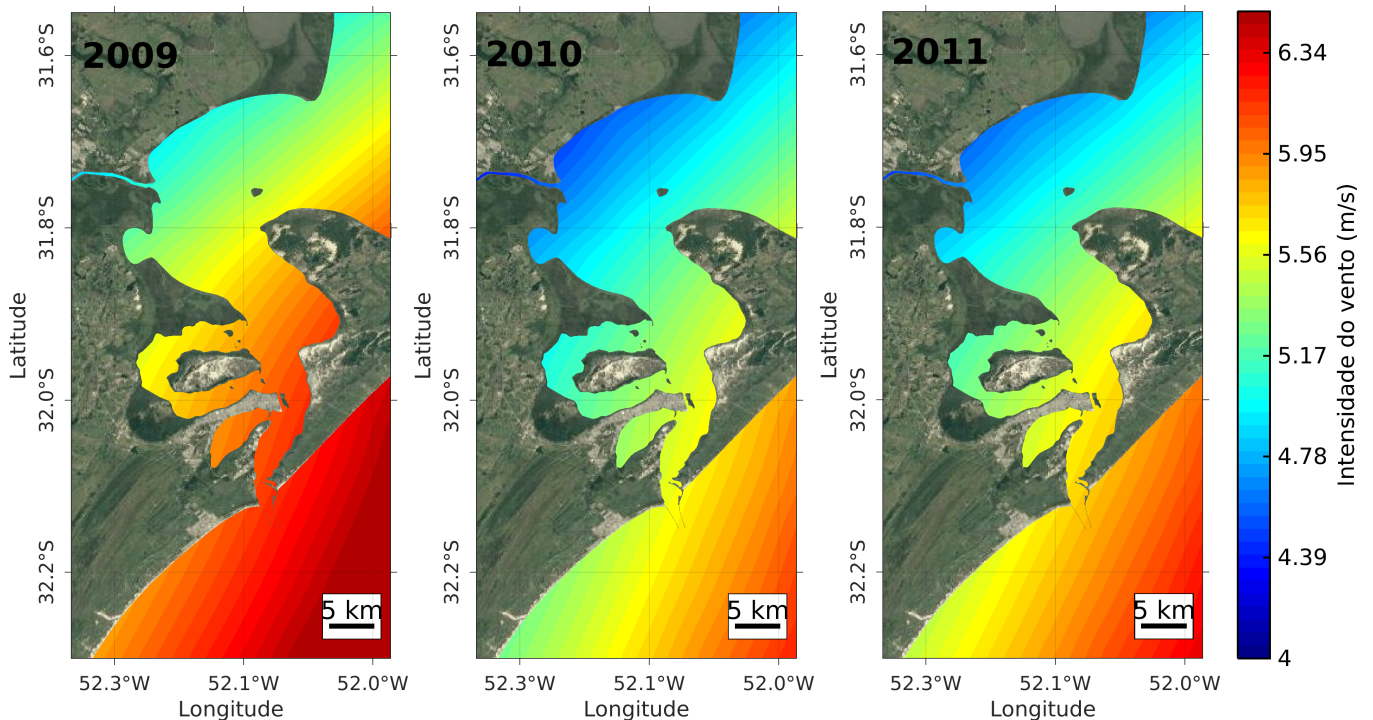


Figura 4.18 – Campos médios de intensidade do vento(m/s) 2009-2011.

Superfície livre

O campo médio de elevação da superfície livre na porção lagunar mostra valores superiores a 1 m (Fig.4.19). Na região do CSG a média normalmente foi de 0.9 m e nos sítios próximos à costa aproximadamente 0.7 m. Os maiores valores de elevação são registrados da região do alto estuário da laguna, principalmente para os anos de 2009 e 2010, e para todos os períodos simulados, os menores valores de nível são registrados na desembocadura da LP. Estes resultados denotam que existe um fluxo de vazante do CSG em direção ao estuário da LP e posteriormente saída de água em direção ao oceano.

As diferenças entre campos de elevação são nítidas quando se compara os anos de 2010 e 2011. Estas distinções podem ser explicadas por alterações nas forçantes climatológicas, como resultado de passagens de sistemas meteorológicos extratropicais, com ventos do quadrante sul, resultando em elevação no nível da laguna.

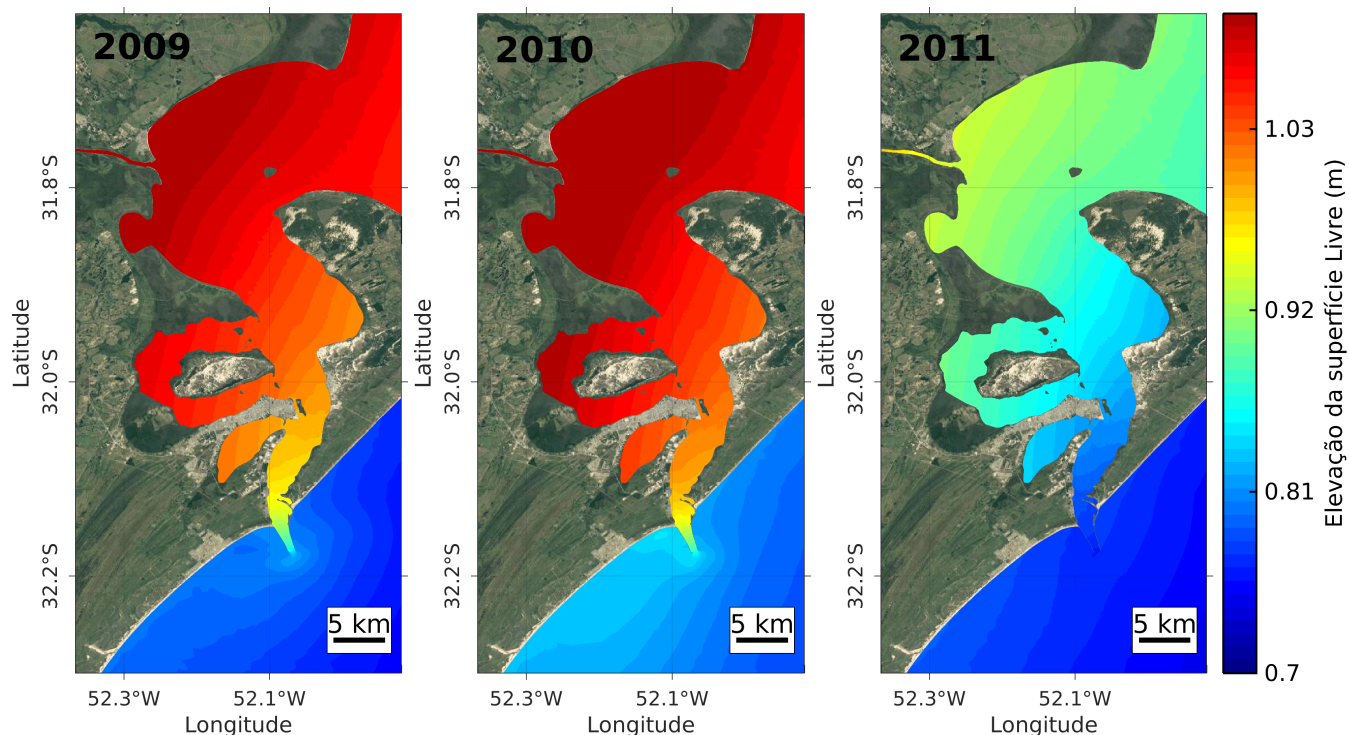


Figura 4.19 – Campos médios elevação da superfície livre(m).

Campos de corrente no estuário do completo Patos-Mirim

Para o período de simulação, as maiores velocidades de correntes na saída do CSG alcançaram 1.8 m/s, onde estas passam a se intensificar a partir do mês de Fevereiro, favorecendo o surgimento de pequenos vórtices na extensão de saída do canal. Tais vórtices são gerados pela diferença de velocidades de correntes em comparação às águas provenientes do alto estuário da LP.

Para a análise vertical se utilizou transectos nas regiões do alto (Fig. 4.20 A), médio (Fig. 4.20 B) e baixo (Fig. 4.20 C) estuários da LP, visando avaliação das correntes dentro das zonas de influência da pluma proveniente do CSG. As maiores velocidades se encontram nas camadas mais profundas do baixo estuário (próximo à fronteira oceânica), onde a vazante é mais intensa nos anos de 2009 e 2010. Contudo, existem correntes de enchente nas camadas de superfície, possivelmente resultantes da ação de ventos SE e L sobre a interface água-ar. A morfologia da laguna favorece o elevado dinamismo de correntes neste local o que resulta no comportamento altamente dinâmico com dominância de vazante na margem de estreitamento (região próxima aos molhes), como descrito na figura 4.23, podendo ser resultado do meandramento natural da LP próximo à fronteira oceânica.

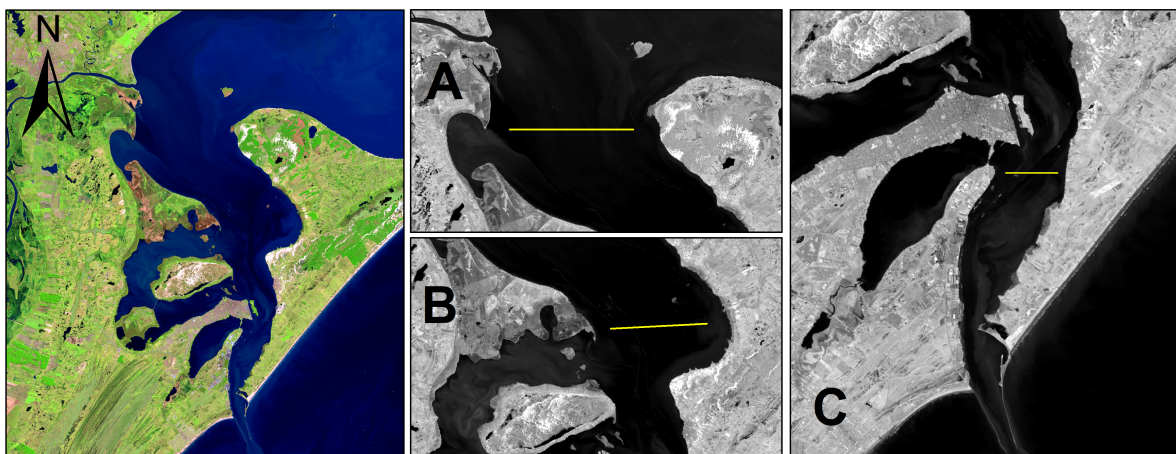


Figura 4.20 – Transectos para as regiões do alto, médio e baixo estuários da LP.

As figuras 4.21, 4.22 e 4.23 demonstram os campos de intensidade e direção de correntes para os três anos analisado a partir dos transectos verificados na figura 4.20.

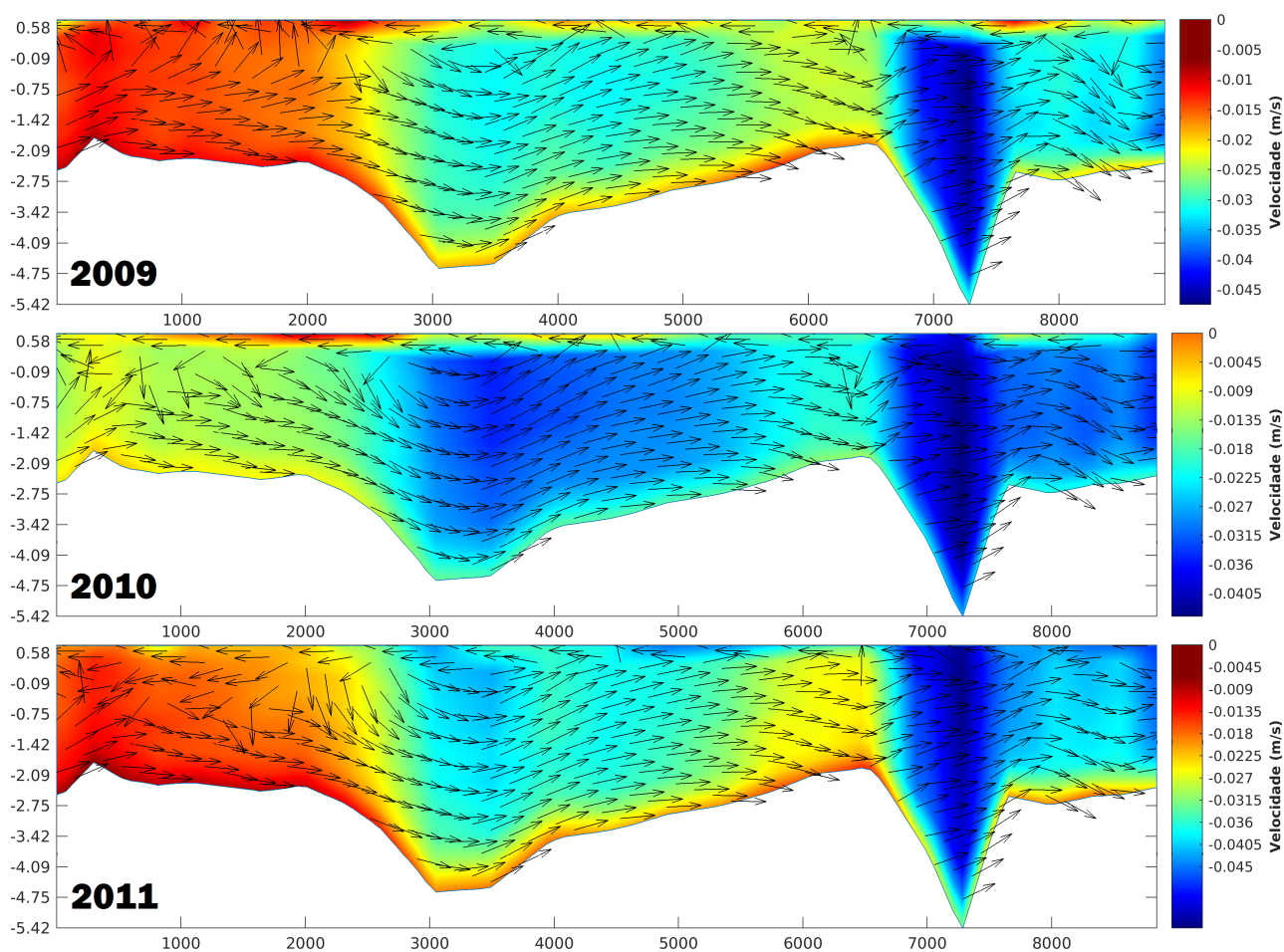


Figura 4.21 – Velocidade de corrente no Alto estuário da LP.

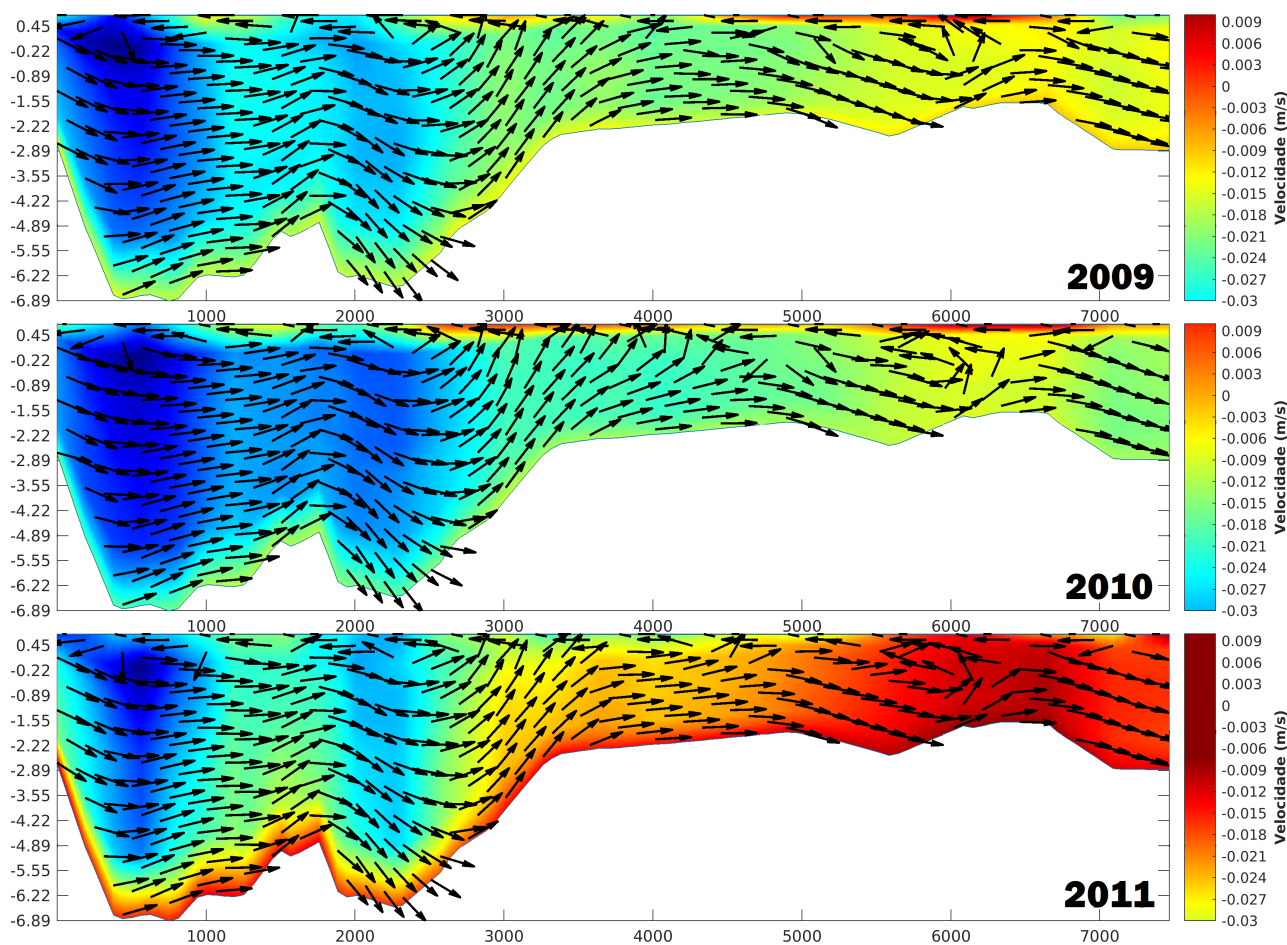


Figura 4.22 – Velocidade de corrente no Médio estuário da LP.

As velocidades ficam menos intensas à medida em que aumenta a distância em relação ao baixo estuário, onde as correntes de vazante se concentram sobre as regiões mais profundas, essencialmente nos canais, analisando as figuras 4.22 e 4.21 se observa que este padrão é verificado sobretudo no ano de 2010. Em contrapartida, as correntes de enchente nas margens da laguna.

Nas figuras 4.21, 4.22 e 4.23 se identificam elevadas velocidades de vazante nas regiões mais profundas do canal no alto, médio e baixo estuário. As velocidades variam entre os diferentes anos simulados, sendo que no alto estuário o fluxo de vazante é intenso em profundidades de 05 m, e para o ano de 2011 esta velocidade de vazante reduz, em comparação aos anos de 2009 e 2010. No médio estuário, diferentemente do transecto criado no alto estuário, é possível observar fluxos de enchente, essencialmente nas margens em profundidades acima de 1.5 m, e a vazante em regiões inferiores a 6 m com maiores intensidades em 2009 e 2010. Por fim, no baixo estuário, não é possível identificar grandes diferenças nas velocidades de vazante entre os diferentes anos, contudo, seus maiores valores são observados nas regiões próximas à superfície em todas as simulações, em profundidades acima de 1 m.

Relacionado à intensidade de corrente, não se identificaram grandes diferenças entre as médias nas três situações de análise, contudo, estas são mais intensas nas regiões próximas ao

sul da laguna (Fig. 4.24), como se observa no transecto do baixo estuário, e os maiores valores são registrados no ano de 2010 e alcançam valores superiores a 0.6 m/s.

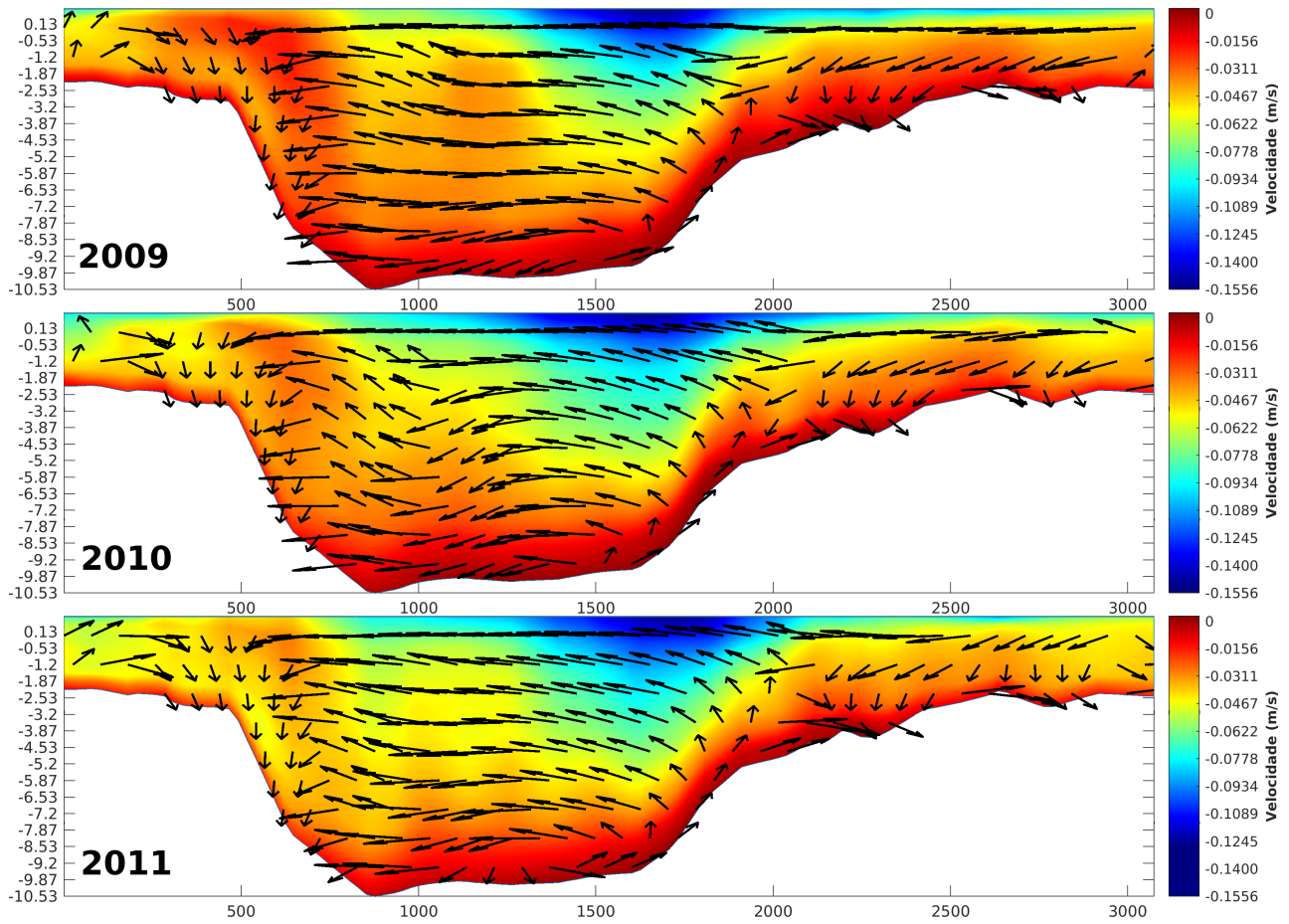


Figura 4.23 – Velocidade de corrente no Baixo estuário da LP.

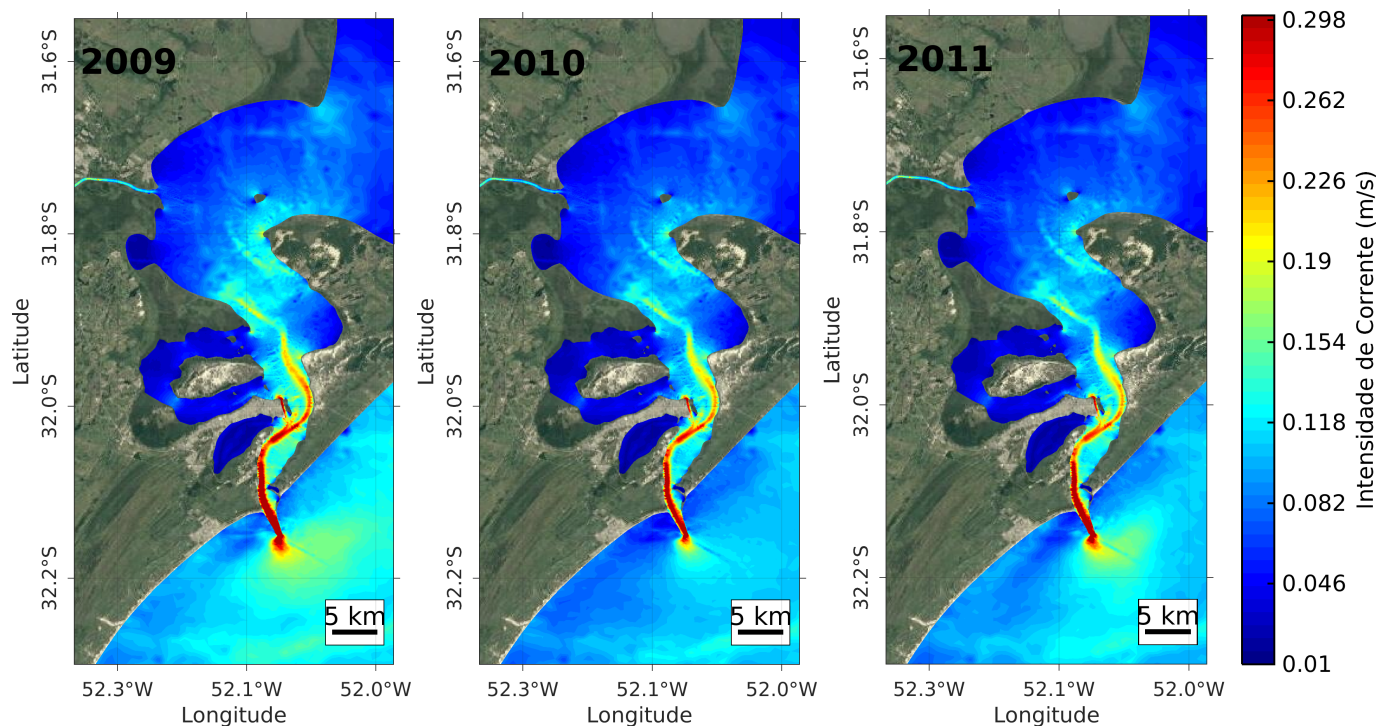


Figura 4.24 – Campos médios de Corrente 2009-2011(m/s).

Comportamento geral da pluma no estuário da Lagoa dos Patos

Os ventos de nordeste contribuem para o espalhamento da pluma em direção à saída do CSG e posteriormente ao oceano. A ação dos ventos ainda colabora para a estratificação vertical sedimentar e aumenta o processo de mistura no estuário da LP, sobretudo no alto estuário, onde a ação das correntes intensificam as misturas verticais. A tendência do espalhamento da pluma proveniente do canal segue, em sua maioria, a margem oeste em direção ao baixo estuário, exceto sob condições de vento S, L e SE, onde a tendência de dissipação do material suspenso segue em direção à praia do Laranjal.

As componentes de velocidade de corrente demonstram que os fluxos de saída de água em direção ao oceano são mais intensos no baixo estuário, com reduzidos fluxos de reentrada superficiais resultantes predominantemente da ação dos ventos. A morfologia da laguna favorece este comportamento, onde a ação das marés na região do baixo estuário são resultado do estreitamento da laguna na porção sul, o que influencia diretamente os fluxos de entrada e saída de água continental.

Deste modo, se presume que a mistura superficial dos componentes provenientes do canal e o material originário da laguna são realizados, em sua maioria, ainda no alto estuário da LP, e a mistura vertical se realiza no médio e baixo estuário, sobretudo na parte oeste da laguna. As alterações na concentração sedimentar das propriedades originárias no canal são nítidas quando se observa o campo médio de concentração. Nela também é possível identificar que as maiores concentrações de material na jusante do CSG são registrados no ano de 2010, e os elementos difundidos resultantes da mistura segue o fluxo de correntes no sentido de vazante, principalmente nas regiões profundas do estuário.

O processo de mistura entre a pluma do canal e o material proveniente do estuário, sobretudo pela ação de correntes, desfavorece a intrusão natural de uma pluma altamente concentrada em direção à fronteira oceânica, exceto sob condições de eventos que resultam em altas vazantes em decorrência da intensificação dos efeitos de ventos NO.

4.2.3. Discussão

Os resultados apresentados neste capítulo indicam que a contribuição sedimentar nas diferentes regiões do estuário são influenciadas pela ação local de ventos, este último ainda apresenta relativa importância na dinâmica de correntes na porção costeira na laguna. No período de ocorrências das anomalias atmosféricas negativas, durante os primeiros meses do ano, ocorrem maiores diferenças na atuação de correntes no alto e médio estuário, onde os fluxos de vazante são bastante intensos, sobretudo em 2010. Mesmo resultado indicado na análise da elevação da superfície livre, onde o ano de 2010 se distingue dos demais períodos simulados. Estas informações podem ser explicadas por resultados expostos em Machado et al. (2010), que descreve este padrão de movimentação singular dos ventos e correntes ocorre em função da localização geográfica da laguna, onde a porção do sul do Rio Grande do Sul se encontra em uma zona de transição climatológica, influenciada pelos sistemas globais extratropicais e intertropicais.

Relacionado ao comportamento da pluma, se observaram variações quando comparados os anos de 2009-2011, principalmente pelo aumento da influência dos ventos provenientes do quadrante norte para o ano de 2010. Estas mudanças são observadas em Moller et al. (2007), que descreve a LP como um local de interface estuário-oceano que sofre intensa ação de fatores meteorológicos, como passagens frontais, anomalias climáticas e descargas fluviais resultantes da precipitação.

Quando analisado o padrão de distribuição mensal dos ventos no presente estudo se observa que apresentaram similaridades sazonais quando comparados a estudos realizados por Machado et al. (2010) e Moller et al. (2001). Existindo predominância de ventos NE, L e SE no verão; no outono se observam distribuições uniformes em sua movimentação, havendo baixas distinções entre as disposições nos quadrantes norte e sul.

A variação na distribuição sedimentar no estuário e no CSG se mostrou intimamente relacionada ao padrão comportamental dos ventos locais e, por conseguinte, na dinâmica local de correntes, onde estas apresentaram maiores intensidades na região do baixo estuário, como verificado na figura 4.23. O que corrobora com colocações feitas por Fernandes et al. (2005), descrevendo que a região do estuário da LP sofre intensa influência dos ventos locais e não locais, marés e interação com os processos ligados à topografia. No mesmo estudo, os autores ainda descrevem que a ação não local dos ventos estão relacionados a mecanismos de desníveis forçados na região costeira, resultando no aumento e decréscimo dos níveis da água transversalmente à ação dos ventos dominantes, os efeitos ocorrem em escalas de tempo de variam de 2 a 20 dias e se correlacionam com as alterações nos campos de pressão atmosféricos.

Referente à elevação de nível da laguna, descrita na figura 4.19, foram verificados maiores valores de elevação no alto estuário da LP, em regiões próximas ao município de Pelotas. Denotando um fluxo médio de vazante em direção ao mar aberto, o mesmo padrão também é observado em Moller et al. (2001), o qual descreve a existência de um fluxo de vazante originado na laguna em direção ao oceano, reiterando que este comportamento pode ser modificado pela ação do vento, favorecendo um fluxo de entrada no estuário. As distinções encontradas quando se compararam os anos de 2009 e 2010, na mesma figura, podem ser explicadas por alterações nas forçantes climatológicas, mesmas colocações descritas em Castelão e Moller (2003) e Marques et al. (2009), os quais atribuem o fenômeno de elevação do nível na LP à passagens de sistemas meteorológicos extratropicais, com ventos do quadrante sul, resultando em elevação no nível da laguna.

Outros estudos que reforçam o comportamento descrito neste estudo, apresentados nas análises dos perfis verticais e componentes de correntes presentes na figura 4.24 são encontrados em estudos realizados por Moller e Casting (1999), Marques et al. (2010b) e Marques et al. (2012), onde também se identifica que em média existe dominância dos eventos de vazante no estuário da região.

Os efeitos de anomalias climáticas na concentração sedimentar são vagamente observados e sutilmente demonstram grandes mudanças na movimentação de material proveniente do canal. Contudo, estas mudanças existem e favorecem alterações na dinâmica da circulação da pluma na lagoa, sobretudo na hidrodinâmica costeira, deste modo, o efeito das anomalias positivas e negativas são significativas quando se compara o regime de ventos entre as três situações simuladas. Autores como Grimm et al. (2000) e Montecinos et al. (2000) reforçam que os fenômenos ENOS, interferem na circulação geral e nos padrões de precipitação no sul do Brasil.

Neste aspecto, anos de *El Niño* tendem a ser mais úmidos e anos de *La Niña* anomalias secas ocorrem no sul brasileiro, podendo resultar em ciclos de variabilidade na contribuição de material suspenso para a laguna. Contudo, não se entendem totalmente as influências destas anomalias abordando apenas seus efeitos inteiramente na circulação geral de ventos para a região da LP. Outro aspecto fundamental diz respeito ao entendimento da existência de zonas de instabilidade, ciclones e atuação de sistemas frontais na região de estudo. Deste modo, não se pode atribuir possíveis diferenciações no padrão de circulação atmosféricas e alterações nas feições do estuário unicamente aos fenômenos climatológicos globais. Na figura 4.25 estão descritas algumas condições de instabilidade observadas pela elevação na quantidade de nuvens baixas que presumem a existência de complexos convectivos através da análise de imagens do sensor MODIS-AQUA, principalmente para os primeiros meses dos anos de 2009-2011.

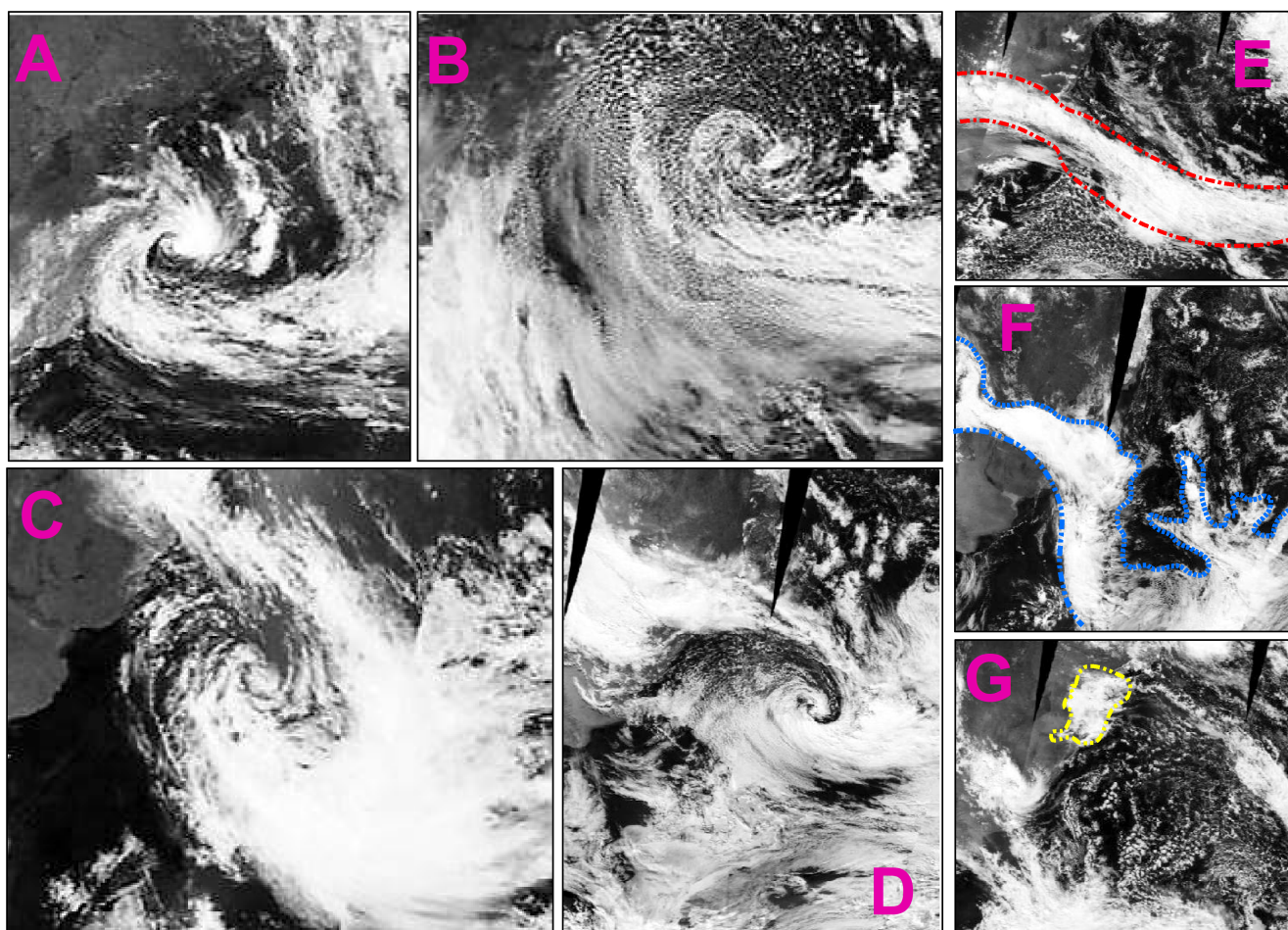


Figura 4.25 – *Snapshots* das condições atmosféricas registradas entre 2009-2011.

Onde: Se utilizou imagens do canal 01 de reflectância de superfície do MODIS para as datas- A (09/03/2010), B (28/05/2011), C (20/01/2010), D (17/05/2010), E (31/03/2009), F (14/04/2011) e G (02/04/2009).

Na figura 4.25, se observa eventos onde existe atuação de sistemas ciclônicos em A, B, C e D na plataforma sul do Brasil, próximas às regiões do mar territorial do RS atuando até o Rio da Plata. Estes fenômenos foram observados em maior número no ano de 2010 nos mesmos dias de registro dos *snapshots* os resultados do modelo indicaram atuações acentuadas de ventos no quadrante sul (NO e O). Outro ponto analisado são as ocorrências de linhas de instabilidade, como registrado em vermelho na figura E da 4.25, com maior ocorrência nos anos de 2009 e 2011, já os sistemas frontais (F) marcados em azul mesma imagem e complexos convectivos de mesoescala (G), em amarelo, são encontrados em todos os períodos analisados sem maiores distinções do número de ocorrências.

Se ressalta que, o presente capítulo objetivou analisar possíveis alterações na movimentação da pluma proveniente do CSG e estuário da laguna em um período curto (4 meses), apenas para entender a dinâmica do transporte de propriedades sob condições de medidas de oscilação distintas com interferência na ZCIT, destacando assim, as condições atmosféricas como componentes principais no entendimento das forçantes para avaliação hidrodinâmica local. Reiterando que, são necessários estudos mais aprofundados e com séries temporais maiores, que

tentem entender a dinâmica de ventos e correntes na região, e busquem relacionar estas condições às mudanças na concentração de sólidos em suspensão, procurando estabelecer padrões no processo de movimentação sedimentar em consonância à circulação atmosférica local.

4.3. COMPORTAMENTO DA PLUMA DO CANAL SÃO GONÇALO: ESTUDO DE CASO PARA O ANO DE 2011

As análises realizadas no presente capítulo objetivaram avaliar as mudanças no comportamento sedimentar e alterações nas feições locais na região do CSG, estuário da laguna dos Patos e região costeira adjacente para o ano de 2011. Deste modo, foi elaborada uma simulação de 1 ano, verificando as condições hidrodinâmicas na área de estudo e analisando de maneira isolada as forçantes que atuam nos processos que envolvem a movimentação da pluma na LP, anual e estacionalmente.

Para entender o transporte de propriedades na área de estudo, foram utilizados campos médios de elevação superficial, concentração de sedimentos, além da intensidade dos ventos e correntes, estes dois últimos avaliados de maneira anual e estacional. Visando melhor compreensão do comportamento da pluma em diferentes porções do estuário se utilizaram perfis verticais, possibilitando observar a estratificação ao longo do estuário. Outra abordagem realizada no capítulo diz respeito às avaliações do comportamento hidrodinâmico da laguna em condições de eventos extremos, observados através de imagens de satélite.

4.3.1. Hidrodinâmica do complexo Patos-Mirim

Comportamento dos ventos no complexo Patos-Mirim

A compreensão da dinâmica de ventos é essencial para o entendimento do comportamento hidrodinâmico dentro do ambiente estuarino. Para o ano de 2011 se observa predominância dos ventos provenientes do NE, que favorecem o comportamento de vazante comum no ambiente lagunar. Os ventos são mais intensos durante o primeiro trimestre do ano atuando, sobretudo, na porção estuarina e nos primeiros quilômetros da plataforma até a quebra do talude continental (Fig.4.27).

Para o período simulado, existiram distinções quando observadas as intensidades do vento em diferentes estações. Ventos mais acentuados são encontrados no verão e no inverno, atuando essencialmente no médio e baixo estuário da LP, com valores que superam 06 m/s e regredindo na medida em que adentra em direção ao continente. A intensidade decresce no outono, estando entre 04 e 05 m/s. Por fim, a primavera se caracteriza como uma estação de transição, onde a ação dos ventos volta a aumentar, atuando essencialmente na região próxima aos molhes. Deste modo, padrão de movimentação dos ventos está ligado ao regime climatológico encontrado durante os diferentes meses do ano, influenciando sobremaneira a hidrodinâmica dentro da LP. Na figura 4.26 é possível observar os campos médios de intensidade do vento para as diferentes estações durante o ano simulado, onde as maiores diferenças se