

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO GRANDE - FURG  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA**

**QUANTIFICAÇÃO DO TRANSPORTE LONGITUDINAL DE AREIA E  
AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE EROSÃO E DEPOSIÇÃO ENTRE A  
BARRA DO RIO GRANDE E A BARRA DO CHUÍ - RS**

ADALBERTO RABELO AKEL

Dissertação apresentada à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre Engenharia Oceânica.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Scotti Fontoura

Co-orientador: Dr. Marco Antonio Rigola Romeu

Rio Grande, dezembro de 2012



## **DEDICATÓRIA**

**Aos meus Pais**

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer a todas as pessoas que me mandaram energia positiva ao longo deste mestrado

Gostaria de agradecer a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) que me forneceu a bolsa de mestrado e permitiu a realização deste estudo.

No nível pessoal/profissional agradeço ao Professor José Antônio Scotti Fontoura que convivi durante este mestrado e pude contar com sua amizade e orientação ao longo do tempo

Ao Professor e Co-orientador Marco Antônio Rigola Romeu agradeço com as séries discussões sobre modelagem SMC.

Agradeço a equipe de campo e de laboratório que me ajudaram ao longo deste trabalho como o Matheus, Marcelo, Christian, Thayane, Glória e Veridiana que sem vocês o trabalho seria impossível.

Agradeço novamente a Veridiana e ao Jessé pela ajuda dada em vários momentos

Agradeço a todos os colegas que me ajudaram durante o curso de mestrado durante as aulas ou mesmo com informações relevantes dos mais diversos assuntos e por contar com amizades de vocês.

## RESUMO

O Sistema de modelagem Costeiro-SMC é um *software* desenvolvido na Universidade de Cantabria, Espanha utilizada para simulação das ondas, corrente e dinâmica de sedimentos na região costeira. Neste trabalho ele foi utilizado para se estudar o trecho entre as desembocaduras da Lagoa dos Patos e do Arroio Chuí.

A modelagem computacional contou com a calibração do modelo, a partir da medição do transporte sedimentar realizada durante a ocorrência dos clusters propostos por ROMEU *et al*, 2010, embasado em uma série temporal de 30 anos de dados da NOAA. Estas coletas de campo foram elaboradas a partir da metodologia conhecida como método de Kraus, apresentado em FONTOURA (2004).

Este trabalho dividiu a área de estudo em 7 setores seguindo a regra da mesma orientação da linha de costa para cada trecho escolhido. A seguir foram realizadas a calibração (comparação dos resultados medidos com os resultados modelados para as mesmas condições hidrodinâmicas) e as simulações, considerando os 5 cenários (clusters) estabelecidos como padrão: Vaga de NE, Ondulação de S, Ondulação de SE, Ondulação de ENE, Vaga de S, para cada um dos trechos eleitos, no qual permitiu encontrar o potencial de transporte de areia.

O comportamento da corrente é bidirecional (deslocamento para SW e NE), porém o transporte líquido é para NE para todos os setores e apresentou os seguintes valores (em m<sup>3</sup>/ano/m) correspondentes a cada um dos trechos numerados de 1 a 7, são eles: 776.964; 1.228.907; 628.321; 1.182.652; 877.878; 587.931; 1.127.327, respectivamente.

Processos de erosão e acreção foram analisados para a região de estudo. Os setores que apresentaram tendência de erosão foram os trechos 2, 4 e 5 e os que apresentaram inclinação a acreção foram os trechos 1,3 e 6.

Os resultados indicaram que os setores com maiores valores azimutais da direção da costa transportam mais areia em relação aos com menor valor de direção.

Palavras-Chave: SMC, Clusters, Transporte sedimentar, Morfodinâmica, Rio Grande-Chuí-RS

## ABSTRACT

The Coastal Modeling System-SMC is software developed at the University of Cantabria, Spain used to simulate wave, current and sediment dynamics in the coastal region. In this study it was used to study the stretch between the mouths of the Patos Lagoon and Arroyo Chuy.

Computational modeling included the calibration of the model, from the measurement of sediment transport carried out during the occurrence of clusters proposed by ROMEU et al, 2010, based on a series of 30 years of data from NOAA. These field collections were taken from the methodology known as Kraus method, presented in FONTOURA (2004).

This study divided the study area into seven sectors following the rule of the same orientation of the coastline for each piece chosen. The following were performed calibration (comparing the measured results with the modeled results for the same hydrodynamic conditions) and the simulations, considering the 5 scenarios (clusters) established as a standard: Wave of NE, swell of S, swell of SE, swell of ENE and Wave of S for each sections elected, which allowed us to find the potential for transporting sand.

The current behavior is bidirectional (offset for SW and NE), but the liquid transport is to NE for all sectors and presented the following values (in  $m^3 / year / m$ ) corresponding to each of the sections numbered one through seven, they are 776,964, 1,228,907, 628,321, 1,182,652, 877,878, 587,931, 1,127,327, respectively.

Erosion and accretion were analyzed for the study region. The sectors that showed trends of erosion were the sites 2, 4 and 5 and those who showed a trend to accretion the excerpts were 1.3 and 6.

The results indicated that sectors with higher azimuthal direction of the coast transporting more sand than those with lower value direction.

**Keywords:** SMC, Clusters, sediment transport, morphodynamics, Rio Grande-Chui- RS

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>24</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>26</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	26
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>27</b>
<b>4 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>28</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	28
4.1.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS .....	28
4.1.2 CARACTERÍSTICAS METEO-OCEANOGRÁFICAS .....	30
4.1.3 CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS .....	34
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>35</b>
5.1 ATIVIDADE PRE-CAMPO (A).....	36
5.2 ATIVIDADE DE CAMPO (B).....	37
5.3 ATIVIDADE POS-CAMPO (C) .....	45
5.3.1 LABORATÓRIO DE SEDIMENTOLOGIA.....	46
5.3.1.1 PROCESSAMENTO DA AMOSTRA E CÁLCULO DO TRANSPORTE NA SEÇÃO TRANSVERSAL DE PRAIA.....	46
5.3.2 SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA-SMC .....	47
5.3.2.1 CALIBRAÇÃO .....	51
5.3.2.2 APLICAÇÃO .....	54
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>55</b>
6.1 DIVISÃO DO LITORAL EM SETORES .....	55
6.2 CALIBRAÇÃO DO MODELO .....	56
<b>6.3 MODELAGEM PARA CADA SETOR IDENTIFICADO</b> .....	<b>69</b>
6.3.1 SETOR 01 .....	70
6.3.2 SETOR 02.....	86
6.3.3 SETOR 03.....	102
6.3.4 SETOR 04.....	117
6.3.5 SETOR 05.....	134
6.3.6 SETOR 06.....	150
6.3.7 SETOR 07.....	167

<b>6.4</b>	<b>TRANSPORTE LÍQUIDO .....</b>	<b>183</b>
<b>6.5</b>	<b>ANÁLISE MORFODINÂMICA .....</b>	<b>185</b>
<b>6.6</b>	<b>AVALIAÇÃO DO MODELO SMC E SUA APLICAÇÃO .....</b>	<b>188</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>190</b>
<b>8</b>	<b>PROPOSTAS DE CONTINUIDADE .....</b>	<b>191</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>192</b>
<b>10</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>197</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 2 – SISTEMA DE POSICIONAIS DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL (MODIFICADO DE TOMAZELLI &amp; VILLWOCK, 2005)..</b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 3 - LOCAL DE OBTENÇÃO DOS DADOS CALCULADOS PELO MODELO WW3, (32°54’S; 50° 48’ W) EM ÁGUAS DE PROFUNDIDADE DE APROXIMADAMENTE 100 METROS.....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 4 – FLUXOGRAMA INDICANDO OS PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DO TRABALHO.....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DA SAÍDA DOS DADOS DO WW3 DA NOAA ..</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DE CAMPO .....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 7 - ESQUEMA DE ORIENTAÇÃO ORTOGONAL REALIZADO NO TRABALHO .....</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 8 - MANUSEIO DA BÚSSOLA E OBTENÇÃO DA ORTOGONAL À LINHA DE COSTA .....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 9 - BALIZA PRÓXIMA A LINHA D’ÁGUA AUXILIANDO A MEDIÇÃO DA DISTÂNCIA DA LINHA ORTOGONAL.....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 10 - MEDIÇÃO DA INTENSIDADE DO VENTO ATRAVÉS DO ANEMÔMETRO A 2M DE ALTURA .....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 11 - MODELO DE ARMADILHA PORTÁTIL UTILIZADA.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE COLETA E DISTÂNCIA EM RELAÇÃO AO PONTO DE REFERÊNCIA NA 1ª COLETA.</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE COLETA E DISTÂNCIA EM RELAÇÃO AO PONTO DE REFERÊNCIA NA 3ª COLETA.</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 14 - REPRESENTAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE COLETA E DISTÂNCIA EM RELAÇÃO AO PONTO DE REFERÊNCIA NA 5ª COLETA.</b>	<b>44</b>

<b>FIGURA 15 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA REALIZAÇÃO DO PERFIL DE PRAIA.....</b>	<b>45</b>
<b>FIGURA 16 - ESQUEMA DO SOFTWARE SMC.....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 17 - FIGURA DO DIÂMETRO MÉDIO DA ÁREA DE ESTUDO RETIRADO DE (CALLIARI &amp; KLEIN, 1993). .....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 18 - DIVISÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM SETORES .....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 19 –VAGA ENE – ESPECTROS DIRECIONAIS PREVISTOS.....</b>	<b>59</b>
<b>FIGURA 20 –VAGA ENE – ESPECTROS UTILIZADOS NO INICIO DO CÁLCULO NA PROFUNDIDADE DE 15M.....</b>	<b>60</b>
<b>FIGURA 21 –ONDULAÇÃO DE S – ESPECTROS DIRECIONAIS PREVISTOS .....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 22 – ONDULAÇÃO DE S – ESPECTROS UTILIZADOS NO INICIO DO CÁLCULO NA PROFUNDIDADE DE 15M.....</b>	<b>602</b>
<b>FIGURA 23 –ONDULAÇÃO DE SE – ESPECTROS DIRECIONAIS PREVISTOS.....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 24 –ONDULAÇÃO DE SE – ESPECTROS UTILIZADOS NO INICIO DO CÁLCULO NA PROFUNDIDADE DE 15M.....</b>	<b>64</b>
<b>FIGURA 25 - TRANSPORTE TOTAL E ENTRE ESTAÇÕES NA ZONA ÚMIDA DURANTE A 1ª COLETA .....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 26 - TRANSPORTE TOTAL E ENTRE ESTAÇÕES NA ZONA ÚMIDA DURANTE A 3ª COLETA .....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 27 - TRANSPORTE TOTAL E ENTRE ESTAÇÕES NA ZONA ÚMIDA DURANTE A 5ª COLETA .....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA 28 - SETOR 01 .....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 29 - ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 01/VAGAS NE.....</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 30 - CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 01/VAGAS NE .....</b>	<b>72</b>

<b>FIGURA 31 - POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 01/VAGAS NE.....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 32 - ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 01/ONDAS S.....</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 33 - CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 01/ONDAS S.....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 34 - POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 01/ONDAS S.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 35 - ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 01/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 36 - CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 01/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 37 - POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 01/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 38 - ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 01/ONDULAÇÃO ENE.....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURA 39 - CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 01/ONDULAÇÃO ENE.....</b>	<b>81</b>
<b>FIGURA 40-POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 01/ONDULAÇÃO ENE.....</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA 41 - ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 01/VAGAS S.....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURA 42 - CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 01/VAGAS S.....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 43 - POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 01/VAGAS S.....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 44 SETOR 02.....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 45 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 02/VAGAS NE.....</b>	<b>87</b>

<b>FIGURA 46 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 02/VAGAS NE.....</b>	<b>88</b>
<b>FIGURA 47 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 02/VAGAS NE.....</b>	<b>89</b>
<b>FIGURA 48 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 02/ONDAS S .....</b>	<b>90</b>
<b>FIGURA 49 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 02/ONDAS S.....</b>	<b>91</b>
<b>FIGURA 50 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 02/ONDAS S.....</b>	<b>92</b>
<b>FIGURA 51 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 02/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>93</b>
<b>FIGURA 52 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 02/ONDULAÇÃO SE .....</b>	<b>94</b>
<b>FIGURA 53 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 02/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>95</b>
<b>FIGURA 54 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 02/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>96</b>
<b>FIGURA 55 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 02/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>97</b>
<b>FIGURA 56 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 02/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>98</b>
<b>FIGURA 57 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 02/VAGAS S .....</b>	<b>99</b>
<b>FIGURA 58 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 02/VAGAS S.....</b>	<b>100</b>
<b>FIGURA 59 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 02/VAGAS S.....</b>	<b>101</b>
<b>FIGURA 60 SETOR 03.....</b>	<b>102</b>

<b>FIGURA 61 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 03/VAGAS NE.....</b>	<b>103</b>
<b>FIGURA 62 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 03/VAGAS NE.....</b>	<b>104</b>
<b>FIGURA 63 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 03/VAGAS NE.....</b>	<b>105</b>
<b>FIGURA 64 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 03/ONDAS S.....</b>	<b>106</b>
<b>FIGURA 65 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 03/ONDAS S.....</b>	<b>106</b>
<b>FIGURA 66 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 03/ONDAS S.....</b>	<b>107</b>
<b>FIGURA 67 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 03/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>108</b>
<b>FIGURA 68 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 03/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>109</b>
<b>FIGURA 69 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 03/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>110</b>
<b>FIGURA 70 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 03/ONDULAÇÃO ENE.....</b>	<b>111</b>
<b>FIGURA 71 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 03/ONDULAÇÃO ENE.....</b>	<b>112</b>
<b>FIGURA 72 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 03/ONDULAÇÃO ENE.....</b>	<b>113</b>
<b>FIGURA 73 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 03/VAGAS S.....</b>	<b>114</b>
<b>FIGURA 74 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 03/VAGAS S.....</b>	<b>115</b>
<b>FIGURA 75 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 03/VAGAS S.....</b>	<b>116</b>

<b>FIGURA 76 SETOR 04.....</b>	<b>118</b>
<b>FIGURA 77 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 04/VAGAS NE.....</b>	<b>119</b>
<b>FIGURA 78 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 04/VAGAS NE.....</b>	<b>120</b>
<b>FIGURA 79 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 04/VAGAS NE.....</b>	<b>121</b>
<b>FIGURA 80 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 04/ONDAS S .....</b>	<b>122</b>
<b>FIGURA 81 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 04/ONDAS S.....</b>	<b>123</b>
<b>FIGURA 82 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 04/ONDAS S.....</b>	<b>124</b>
<b>FIGURA 83 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 04/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>125</b>
<b>FIGURA 84 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 04/ONDULAÇÃO SE .....</b>	<b>126</b>
<b>FIGURA 85 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 04/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>127</b>
<b>FIGURA 86 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 04/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>128</b>
<b>FIGURA 87 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 04/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>129</b>
<b>FIGURA 88 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 04/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>130</b>
<b>FIGURA 89 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 04/VAGAS S .....</b>	<b>130</b>
<b>FIGURA 90 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 04/VAGAS S.....</b>	<b>132</b>

<b>FIGURA 91 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 04/VAGAS S.....</b>	<b>133</b>
<b>FIGURA 92 SETOR 05.....</b>	<b>134</b>
<b>FIGURA 93 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 05/VAGAS NE.....</b>	<b>135</b>
<b>FIGURA 94 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 05/VAGAS NE.....</b>	<b>136</b>
<b>FIGURA 95 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 05/VAGAS NE.....</b>	<b>137</b>
<b>FIGURA 96 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 05/ONDAS S.....</b>	<b>138</b>
<b>FIGURA 97 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 05/ONDAS S.....</b>	<b>139</b>
<b>FIGURA 98 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 05/ONDAS S.....</b>	<b>140</b>
<b>FIGURA 99 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 05/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>141</b>
<b>FIGURA 100 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 05/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>142</b>
<b>FIGURA 101 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 05/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>143</b>
<b>FIGURA 102 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 05/ONDULAÇÃO ENE.....</b>	<b>144</b>
<b>FIGURA 103 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 05/ONDULAÇÃO ENE.....</b>	<b>145</b>
<b>FIGURA 104 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 05/ONDULAÇÃO ENE.....</b>	<b>146</b>
<b>FIGURA 105 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 05/VAGAS S.....</b>	<b>147</b>

<b>FIGURA 106 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 05/VAGAS S.....</b>	<b>148</b>
<b>FIGURA 107 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 05/VAGAS S.....</b>	<b>149</b>
<b>FIGURA 108 SETOR 06.....</b>	<b>150</b>
<b>FIGURA 109 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 06/VAGAS .....</b>	<b>150</b>
<b>FIGURA 110 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 06/VAGAS NE....</b>	<b>152</b>
<b>FIGURA 111 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 06/VAGAS NE.....</b>	<b>153</b>
<b>FIGURA 112 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 06/ONDAS S .....</b>	<b>154</b>
<b>FIGURA 113 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 06/ONDAS S.....</b>	<b>155</b>
<b>FIGURA 114 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 06/ONDAS S.....</b>	<b>156</b>
<b>FIGURA 115 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 06/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>157</b>
<b>FIGURA 116 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 06/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>158</b>
<b>FIGURA 117 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 06/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>159</b>
<b>FIGURA 118 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 06/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>160</b>
<b>FIGURA 119 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 06/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>161</b>
<b>FIGURA 120 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 06/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>162</b>

<b>FIGURA 121 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 06/VAGAS S</b> .....	<b>163</b>
<b>FIGURA 122 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 06/VAGAS S.....</b>	<b>164</b>
<b>FIGURA 123 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR</b> <b>06/VAGAS S.....</b>	<b>165</b>
<b>FIGURA 124 SETOR 07.....</b>	<b>167</b>
<b>FIGURA 125 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 07/VAGAS</b> <b>NE.....</b>	<b>168</b>
<b>FIGURA 126 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 07/VAGAS NE....</b>	<b>169</b>
<b>FIGURA 127 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR</b> <b>07/VAGAS NE.....</b>	<b>170</b>
<b>FIGURA 128 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 07/ONDAS S</b> .....	<b>171</b>
<b>FIGURA 129 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 07/ONDAS S.....</b>	<b>172</b>
<b>FIGURA 130 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR</b> <b>07/ONDAS S.....</b>	<b>173</b>
<b>FIGURA 131 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR</b> <b>07/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>174</b>
<b>FIGURA 132 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 07/ONDULAÇÃO</b> <b>SE.....</b>	<b>175</b>
<b>FIGURA 133 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR</b> <b>07/ONDULAÇÃO SE.....</b>	<b>176</b>
<b>FIGURA 134 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR</b> <b>07/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>177</b>
<b>FIGURA 135 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 07/ONDULAÇÃO</b> <b>ENE .....</b>	<b>178</b>

<b>FIGURA 136 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 07/ONDULAÇÃO ENE .....</b>	<b>179</b>
<b>FIGURA 137 ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NO SETOR 07/VAGAS S .....</b>	<b>180</b>
<b>FIGURA 138 CORRENTES LONGITUDINAIS NO SETOR 07/VAGAS S.....</b>	<b>181</b>
<b>FIGURA 139 POTENCIAL DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR 07/VAGAS S.....</b>	<b>182</b>
<b>FIGURA 140 - TRANSPORTE LÍQUIDO POR SETOR.....</b>	<b>183</b>
<b>FIGURA 141 CONDIÇÃO MORFODINÂMICA DE RIO GRANDE AO CHUÍ .....</b>	<b>188</b>

## **LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS CENÁRIOS ENCONTRADOS PARA RIO GRANDE-RS DE ACORDO COM ROMEU ET AL, 2010.....</b>	<b>32</b>
<b>TABELA 2 - MEDIDAS DO VENTO E DA CORRENTE .....</b>	<b>56</b>
<b>TABELA 3 - PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO PARA CADA CENÁRIO</b>	<b>57</b>
<b>TABELA 4 - TRANSFORMAÇÃO PELA LEI DE SNELL DOS CENÁRIOS CALIBRADOS.....</b>	<b>58</b>
<b>TABELA 5 - TRANSFORMAÇÃO PELA LEI DE SNELL DOS CENÁRIOS NÃO CALIBRADOS .....</b>	<b>58</b>
<b>TABELA 6 - TRANSPORTE LONGITUDINAL (TOTAL E POR ESTAÇÃO) MEDIDO DURANTE AS 3 COLETAS .....</b>	<b>66</b>
<b>TABELA 7 - PERCENTUAL DO TRANSPORTE LONGITUDINAL POR COLETA E POR ESTAÇÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>TABELA 8 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA CALIBRAÇÃO DO SMC .....</b>	<b>68</b>
<b>TABELA 9 - TRANSPORTE LONGITUDINAL E TAXAS LÍQUIDAS DE TRANSPORTE LONGITUDINAL.....</b>	<b>85</b>
<b>TABELA 10: QUANTIDADE DE SEDIMENTO TRANSPORTADA EM CADA CONDIÇÃO DE MAR E O TRANSPORTE LIQUIDO PARA O SETOR02 .....</b>	<b>101</b>
<b>TABELA 11: QUANTIDADE DE SEDIMENTO TRANSPORTADA EM CADA CONDIÇÃO DE MAR E O TRANSPORTE LIQUIDO PARA O SETOR03 .....</b>	<b>116</b>
<b>TABELA 12: QUANTIDADE DE SEDIMENTO TRANSPORTADA EM CADA CONDIÇÃO DE MAR E O TRANSPORTE LIQUIDO PARA O SETOR04 .....</b>	<b>133</b>
<b>TABELA 13: QUANTIDADE DE SEDIMENTO TRANSPORTADA EM CADA CONDIÇÃO DE MAR E O TRANSPORTE LIQUIDO PARA O SETOR05 .....</b>	<b>149</b>
<b>TABELA 14: QUANTIDADE DE SEDIMENTO TRANSPORTADA EM CADA CONDIÇÃO DE MAR E O TRANSPORTE LIQUIDO PARA O SETOR06 (GRANULOMETRIA DO CASSINO ).....</b>	<b>166</b>

**TABELA 15: QUANTIDADE DE SEDIMENTO TRANSPORTADA EM CADA  
CONDIÇÃO DE MAR E O TRANSPORTE LIQUIDO PARA O SETOR06 (D50  
LOCAL=0,210mm) ..... 166**

**TABELA 16 QUANTIDADE DE SEDIMENTO TRANSPORTADA EM CADA  
CONDIÇÃO DE MAR E O TRANSPORTE LIQUIDO PARA O SETOR07 ..... 182**

**TABELA 17: ANÁLISE MORFODINÂMICA ..... 187**

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>EQUAÇÃO (5.1): VELOCIDADE MÉDIA DA CORRENTE.....</b>	<b>40</b>
<b>EQUAÇÃO (5.2): FLUXO DE SEDIMENTOS ENTRE REDES.....</b>	<b>46</b>
<b>EQUAÇÃO (5.3): FLUXO TOTAL DE MATERIAL SÓLIDO.....</b>	<b>46</b>
<b>EQUAÇÃO (5.4): TRANSPORTE LONGITUDINAL.....</b>	<b>47</b>
<b>EQUAÇÃO (5.5) CÁLCULO DO TRANSPORTE POR SOULSBY (1997).....</b>	<b>51</b>
<b>EQUAÇÃO (5.6): COEFICIENTE <math>A_{SB}</math>.....</b>	<b>51</b>
<b>EQUAÇÃO (5.7): COEFICIENTE <math>A_{SS}</math>.....</b>	<b>51</b>
<b>EQUAÇÃO (5.8): PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO POR HALLERMEIER (1978).....</b>	<b>51</b>
<b>EQUAÇÃO (5.9): LEI DE SNELL.....</b>	<b>52</b>

## **LISTA DE ABREVIACÕES**

Acordes – Análises de curto prazo em praias

ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler

ADV – Acoustic Doppler Velocimeter

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação

E – Leste

ENE – Leste/Nordeste

EMA – Estação de Marinha e Aquicultura

Mopla – Morfodinâmica de Praias

NE – Nordeste

NOAA – Administração Oceânica e Atmosférica Nacional

OBS – Optical Backscatter Sensor

PUV – Pressure, U-Velocity, V-Velocity

RS – Rio Grande do Sul

S - Sul

SE - Sudeste

SMC – sistema de Modelagem Costeira

SW - Sudoeste

WW3 - Wave Watch III

## LISTA DE SÍMBOLOS

$V_c$  - Velocidade média da corrente

$\Delta S$  - Espaço compreendido entre as balizas

$\Delta t$  - Intervalo de tempo

$\Delta F_i$  - Quantidade de sedimentos que flui entre duas redes adjacentes

$F_{i+1}$  e  $F_{i-1}$  - são as quantidades coletadas pelas redes

$Z_{i+1}$  e  $Z_{i-1}$  - Representam a dimensão vertical da boca superior e inferior

$\Delta Z_i$  - É a distância vertical medida entre duas redes adjacentes

$N$  - É o número de redes

$Q_t$  - É a vazão total de sedimentos que passa através da secção transversal de área úmida

$I_i$  e  $I_{i+1}$  - São os fluxos de sedimentos que passam por “i” e “i+1”

$A$  - É a área úmida transversal do segmento compreendido entre as estações “i” e “i+1”

$q_t$  - É o transporte de fundo e de suspensão

$$A_s = A_{sb} + A_{ss}$$

$\bar{U}$  - É a velocidade na vertical

$C_D$  - É coeficiente de fricção devido a corrente

$U_{rms}^2$  - É a velocidade orbital quadrática média

$\bar{U}_{cr}$  - É a velocidade crítica no início do movimento

$H$  - É a profundidade

$D_{50}$  - Diâmetro médio do grão

$s$  - Densidade relativa

$g$  - É a aceleração da gravidade

$D_*$  - Diâmetro da partícula

$D_c$  - É a profundidade de Fechamento (“Depth of Closure”)

$H_s$  - É a altura significativa de onda

$T_p$  - É o período de onda

$D_p$  - É a direção de pico

$\sin \theta$  - É o seno do ângulo em água profunda

$C$  - É a celeridade em águas profundas

$\sin \theta_0$  - É o seno do ângulo em águas intermediárias

$C_0$  - É a celeridade em águas intermediárias

AZ - Azimute

$\varphi$  (°) - Ângulo de atrito

## 1 INTRODUÇÃO

Este estudo que se inicia transcorreu sobre a área das Geociências e da Engenharia Costeira e Oceânica e investigou a porção costeira sul do estado do Rio Grande do Sul (Rio Grande à Chuí) quanto ao transporte sedimentar (areia) por meio do conhecimento multidisciplinar da modelagem computacional e da obtenção de dados de campo que serviram de suporte para computar, validar e calibrar o modelo SMC (Sistema de Modelagem Costeira).

A aplicação do modelo para a planície sul-rio-grandense apresenta grande relevância, pois é conhecido que neste lugar encontra-se uma praia arenosa, aberta e dominada por ondas e ventos, das mais extensas do mundo. Conhecer o comportamento do seu potencial sedimentar, principalmente aquele decorrente da deriva litorânea torna-se essencial para entender os processos que atuam sobre as mudanças da linha de costa e suas consequências sobre as intervenções de engenharia que eventualmente possam ocorrer neste litoral.

A movimentação dos sedimentos na costa do Rio Grande do Sul está relacionada de uma maneira geral a: mudanças abruptas na direção da linha de costa, a presença de *inlets*, ou a influências antrópicas como obras de engenharia construídas na região costeira. (SPERANSKI & CALLIARI, 2001).

Em relação às ondas locais que são o principal agente mobilizador dos sedimentos TOZZI & CALLIARI (2000), por cerca de 5 anos fizeram observações diárias em águas rasas, próximo zona de arrebentação, baseados no projeto de MELO (1991). Estas observações indicaram para a região três direções principais de onda no litoral de Rio Grande: Leste (L), Sudeste (SE) e Sul(S). As ondas de leste apresentam períodos de pico ( $T_p$ ) médios de 9 segundos e altura significativa ( $H_s$ ) igual a 0,5 metro, as ondas de sudeste: período variando de 11 a 15 s., embora podendo ocorrer raramente casos de 16s e altura de 1,25 m. e de modo extraordinário eventos de 2,5 a 3,0 metros e ondas de sul com período de 12s e altura de 2m.

O transporte sedimentar apresenta poucos estudos em praias com distribuição de sedimentos bimodais e polimodais. No entanto, nas últimas décadas, principalmente com a utilização de novos equipamentos, tem possibilitado realizar medições mais rápidas e precisas na zona de surf, com ênfase para a corrente longitudinal.

Para a estimativa da taxa de transporte longitudinal sempre foram utilizadas basicamente 3 técnicas padrões de medição: traçadores de sedimentos (“sediment tracer”), armadilhas portáteis (“streamer sediment trap”) e técnicas de imposição de barreira transversais (“impoundment technique”) que separadamente ou em conjunto estão comprometidas no desafio de estimar a capacidade de transporte sedimentar costeiro. (WANG *et al*, 1998). Estas técnicas, apesar de importantes, sempre apresentaram dificuldades quanto à obtenção de dados de boa qualidade, seja pelas dificuldades impostas pelas limitações do próprio processo, seja pelas dificuldades naturais do espaço de mar a ser estudado. Atualmente a disponibilidade de equipamentos mais sofisticados (PUVs, ADCPs, ADVs, OBSs, etc.) e mais precisos com certeza trarão novas perspectivas para este campo da ciência.

A estimativa da mudança morfológica depende da dinâmica local em seus aspectos naturais como também antrópicos, uma vez que esses aspectos podem alterar o fluxo energético da praia e alterar consigo o transporte sedimentar, por isso há a necessidade de um conhecimento do potencial da taxa de transporte longitudinal, já que permitirá a sua caracterização e facilitará a compreensão do ambiente, permitindo o vislumbamento do que poderá ocorrer em relação às mudanças ao longo da costa (LIMA *et al*, 2001).

Na zona costeira há um grande número de variáveis envolvidas em diferentes processos, dentre os quais erosão e deposição. Para avaliação desses processos, além dos dados de ondas (altura, período e direção) e das taxas de transporte sedimentar, são importantes também informações sobre a direção e velocidade das correntes dentro da arrebentação, direção e intensidade dos ventos, dados sedimentológicos e sobre a morfologia da praia. Estes conjuntos de variáveis envolvidas auxiliam na compreensão da morfodinâmica local, preferencialmente nos aspectos de mudanças da linha de costa. (LANFREDI & FRAMINÂN, 1986).

Além dos elementos citados, há ainda, uma variável importante que é típica do litoral sul do Rio Grande do Sul que são os córregos de drenagem praial, conhecidos como sangradouros. Estes são cursos d'água que ocorrem na face de praia adjacente as chamadas áreas úmidas, formadas pelo acúmulo de água doce de origem pluviométrica, geralmente, atrás das dunas. Essas feições contribuem para a característica morfológica da costa. (SERPA, 2008).

Há ainda uma característica interessante no litoral sul do Rio Grande do Sul, que é a presença da chamada praia dos Concheiros (próximo ao Farol do Albardão), pois neste trecho de costa, com aproximadamente 40 km de comprimento, as praias apresentam maiores gradientes e a sua composição granulométrica é bimodal (ARAÚJO, 2002). Neste trabalho foi utilizada a classe granulométrica de areia correspondente de cada setor, ou seja, a parte correspondente do cascalho biodetrítico responsável pela bimodalidade dos sedimentos da região dos Concheiros não foi considerada neste estudo.

É necessário conhecer o transporte sedimentar nas praias que compõe a área de estudo, pois elas estão submetidas a regimes energéticos variáveis que vão desde condições atmosféricas normais até eventos de tempestades costeiras, que ocorrem no rastro da passagem de frentes frias e são responsáveis por importantes elevações da água na costa, conhecidas como marés meteorológicas. Estas condições são altamente favoráveis aos processos erosivos da linha de costa. (ARAÚJO, 2002).

Por isso, a importância de se obter dados de campo em séries temporais sobre o transporte sedimentar costeiro, estes dados são essenciais para a calibração dos modelos matemáticos que poderão ser usados, para investigações principalmente em áreas de estudo com grandes extensões (escala espacial de quilômetros) como ocorre com este trabalho.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Através da utilização do software SMC, deseja-se identificar quais trechos da costa Sul do Rio Grande do Sul (de Rio Grande ao Chuí) estão potencialmente sob processo erosivo, acrescimento ou em condição estável.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos do trabalho são representados abaixo:

1. Avaliar, em relação ao norte, a orientação geográfica do litoral a ser estudado a fim de dividi-lo em diferentes segmentos de praia de mesma orientação que serão estudados como unidade independente.
2. Coletar dados de perfil de praia, corrente, vento (direção e intensidade) e medir o transporte sedimentar próximo a EMA para obter os parâmetros de entrada para calibração do modelo SMC.
3. Utilizar o SMC para simular o transporte sedimentar nos diferentes trechos de praia identificados, a fim de verificar o estágio do processo deposicional em cada um deles e na região como um todo.

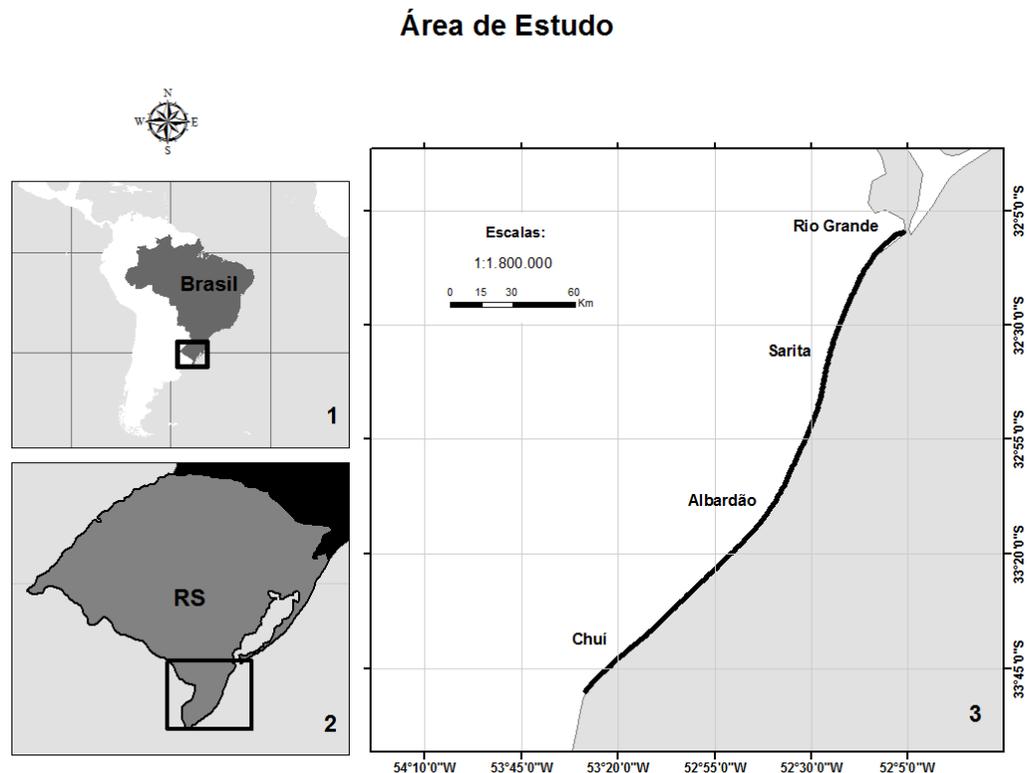
### **3 JUSTIFICATIVA**

Este trabalho poderá contribuir no conhecimento do comportamento morfodinâmico da costa sul do Rio Grande do Sul por identificar e caracterizar segmentos de costa que apresentem sítios potencialmente erosivos e desta maneira, trabalhos futuros poderão vir a propor ações protetoras ou mitigatórias nestas zonas afetadas ou passíveis de risco. Esta proposta se justifica, principalmente, devido a utilização da zona costeira para atividades econômicas, de lazer e moradia nas últimas décadas, o que, invariavelmente, tem contribuído para se ter mais investimentos em obras de infra-estrutura na região.

Desta forma, é importante se conhecer o transporte sedimentar no local de estudo, pois com isto será possível ter um diagnóstico das mudanças morfológicas ao longo dos trechos de praia propostos neste trabalho. Além do mais, haverá a oportunidade de se aumentar o banco de dados disponíveis na região, somando-se os dados deste trabalho aos dados pré-existentes obtidos por outros autores.

## 4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no litoral sul do Rio Grande do Sul, compreendida entre a desembocadura da Lagoa dos Patos e a desembocadura do Arroio Chuí, mais precisamente situada entre os paralelos de 31° 30' e 34° 30' sul e os meridianos de 55° e 52° oeste, compreendendo aproximadamente 220 km de costa, conforme Figura 1.



**Figura 1 - Localização da Área de Estudo**

A linha de costa sul-rio-grandense apresenta características únicas, dentre as quais podem ser salientados: a sua homogeneidade ao longo de sua extensão, ausências de promontórios rochosos e ou baías no decorrer do litoral do estado. Este lugar, ainda apresenta uma costa arenosa exposta à energia incidente do ambiente oceânico adjacente. (SPROVIERI, 2011).

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

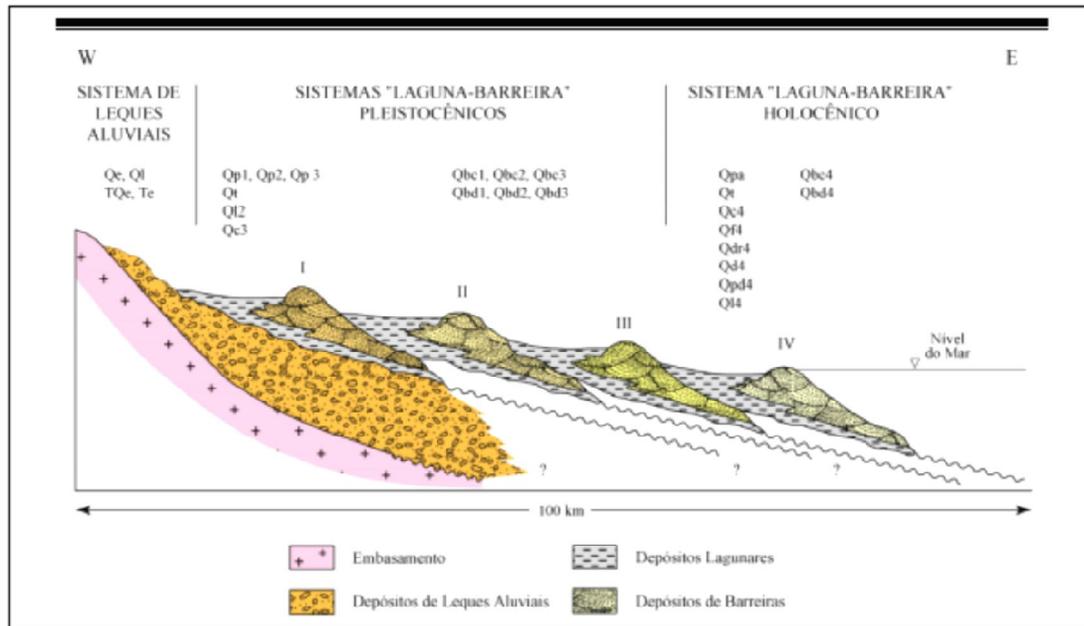
#### 4.1.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

O litoral do Rio Grande do Sul apresenta uma praia arenosa oceânica caracterizada por uma extensa planície costeira considerada como uma das praias abertas dominadas por ondas e ventos mais extensas e contínuas do mundo (LIMA *et al*, 2001). Na região costeira entre Rio Grande e Chuí, de acordo com (SHORT & HESP 1982), podem ser encontradas três zonas morfodinâmicas diferentes: proximidades da Barra do Rio Grande com características dissipativas, a localidade dos concheiros do Albardão com comportamento intermediário a refletivo e as demais regiões predominantemente intermediárias.

Segundo estes autores há uma destacada variação sazonal da praia. Entre novembro e março prevalece um perfil de acreção, caracterizado por um maior estoque de sedimentos na porção subárea, especialmente nas dunas. Entre abril e outubro, a praia apresenta característica oposta, isto é, um perfil de erosão, ocorrendo migração de estoque de sedimentos para a porção subaquosa da praia, sobretudo para os bancos.

Na área de estudo há vários sistemas deposicionais, que utilizam como critério as fácies sedimentares. Estes são decorrentes da erosão das terras altas a oeste e fácies sedimentares de origem clásticas terrígenas que se acumularam durante o cenozóico ao longo da costa do Rio Grande do Sul devido aos processos desenvolvidos em ambientes deposicionais. Esses sistemas são conhecidos como: Sistemas Depositionais Tipo Laguna-Barreira, Sistema Laguna-Barreira (I), Sistema Laguna-Barreira (II), Sistema Laguna-Barreira (III) e Sistema Laguna-Barreira (IV), além dos leques aluviais. (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2000).

O Sistema Laguna-Barreira (I) corresponde ao depósito mais antigo que se desenvolveu a partir de um primeiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico tendo idade de, aproximadamente, 400.000 anos. Este depósito se encontra preservado a noroeste da planície costeira. O Sistema Laguna-Barreira (II) teve evolução decorrente do resultado do evento transgressivo-regressivo pleistocênico com idade aproximada de 325.000 anos. Este sistema corresponde ao primeiro estágio na evolução “Barreira Múltipla Complexa”, no qual o seu isolamento foi responsável pela formação do sistema lagunar. O Sistema Laguna-Barreira (III) é correspondente ao terceiro evento transgressivo-regressivo, e ele é associado ao isolamento final do sistema lagunar Patos-Mirim. Este ambiente contém fácies arenosas de origem praial e marinho raso, recobertas por depósitos eólicos, dispostos numa sucessão vertical claramente indicativa do processo regressivo (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2005). O sistema Lagunar-Barreira IV que foi desenvolvido durante o Holoceno na última transgressão marinha e isolou um novo sistema de pequenas lagunas no lado oeste da barreira. (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2000). O Sistema Laguna-Barreira pode ser representado na visualização da figura 2.



**Figura 2 – Sistema Depositionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (modificado de TOMAZELLI & VILLWOCK, 2005).**

De acordo com SEELIGER (1992) há diferenças de dunas entre o Cassino e o Hermenegildo, o mesmo identificou três diferentes sistemas de dunas frontais: Entre o cassino e 33° sul, caracterizado por dunas frontais bem desenvolvidas (de 3 a 6 metros de altura); uma zona de transição dominada por dunas coalescentes (de 1 a 2 metros de altura); e o extremo sul caracterizado por planícies arenosas, formada por dunas móveis que avançam sobre a lagoa Mangueira e pântanos adjacentes.

PEREIRA DA SILVA (1995) estudou os sangradouros, e relacionou a variabilidade nas concentrações de sangradouros às características adjacentes, à fisiografia dos sistemas de dunas frontais e às características morfodinâmicas da praia. Este autor indicou que as maiores concentrações de sangradouros estão entre a estação ecológica do Taim e o farol do Albardão e entre o Balneário do Hermenegildo e o Arroio Chuí.

#### 4.1.2 CARACTERÍSTICAS METEO-OCEANOGRÁFICAS

A região sul do Brasil é caracterizada por manifestar grande uniformidade climática, com predominância do clima mesotérmico, superúmido, sem possuir uma estação seca definida (NIMER, 1989). A cidade de Rio Grande é localizada na latitude de 32.05°S, na passagem da zona subtropical para a zona temperada. A maior influência no clima é o centro de alta pressão do Atlântico Sul, somado com a proximidade da convergência subtropical e do sistema lagunar Patos-Mirim, forças características temperadas quentes sobre o local (NIMER, 1989).

O regime de ventos e massas de ar no litoral do Rio Grande do Sul é gerido por dois centros de alta pressão que são: o Anticiclone do Atlântico Sul e o Anticiclone

Polar Migratório, que exerce influência no verão, gerando ventos de NE e incidência no inverno gerando ventos de SW, respectivamente. (SANTO, 2007).

O regime de marés na área de estudo é caracterizado por uma amplitude de maré com valor aproximado de 50 cm, devido à proximidade de um ponto anfidrômico e também pelas características, sem reentrâncias e irregularidades que poderiam amplificar a amplitude de maré por efeitos de ressonância e convergência. Por isso é classificada como uma região de micromarés (HERZ, 1977; TOMAZELLI & VILLWOCK, 1992).

As variações mais importantes do nível d'água na costa são causadas pela ocorrência de marés meteorológicas (*storm surges*) que surgem dos fortes ventos do quadrante sul, formados durante a passagem de sistemas frontais que causam empilhamento d'água no litoral, devido à extensa zona de arrebentação, baixa pressão atmosférica e o transporte de Ekman. (apud CALLIARI et al, 1998). Com isso, a maré meteorológica pode chegar a 1 m acima da maré astronômica, porém este fenômeno ocorre, geralmente, nos meses de abril e maio na coincidência da maré astronômica ser de sizígia. (SANTO, 2007).

As ondas são os agentes hidrodinâmicos mais importante na costa do Rio Grande do Sul, portanto quanto melhor for a caracterização do regime de ondas da região mais acurados serão os resultados dos trabalhos feitos na região. Os dados mais utilizados na região são os que foram obtidos por WAINER (1963) e aplicados posteriormente por MOTA (1967) para região da desembocadura da Lagoa de Tramandaí e por MOTA (1969), para a desembocadura da Lagoa dos Patos. Esses dados foram obtidos a uma profundidade de 20m, durante um ano (1962-1963) em Tramandaí, sendo aplicados para diferentes regiões da costa do Rio Grande do Sul, pois segundo as "Seas and Swell Charts" (U.S.Hydrographic Office, 1943) o clima de ondas é semelhante para toda costa do estado do Rio Grande do Sul. (Apud, MOTA 1969).

Segundo WAINER (1963), os parâmetros locais de onda são: altura de 1,5m (23% dias por ano); 16% do ano a altura de onda é maior que 2m e 3% do ano superior a 2,4m. O período de maior frequência é de 9 s, variando entre 5 e 17 s. A direção da incidência das vagas é praticamente de leste (entre Az de 95-110°) e das ondulações é sudeste (Az=125°).

Dados de um ondógrafo fundeado na proximidade dos molhes da cidade Rio Grande foram relatados por (STRAUCH, 1998) que encontrou duas classes de onda na região: vagas e ondulações. A primeira apresenta direção de aproximadamente 100°, períodos de 8s e altura significativa média de 1m, a segunda, têm direção de 160°, período de 12s e altura significativa de 1,5m.

Durante o verão, COLI (2000) relata que as ondas distinguidas são as vagas (variando de 8 a 10s), enquanto na estação do inverno as ondas características são de ondulação, que têm período oscilando de 10 a 14s. As estações do outono e da primavera são condições intermediárias na questão das ondas. (VARA, 2012)

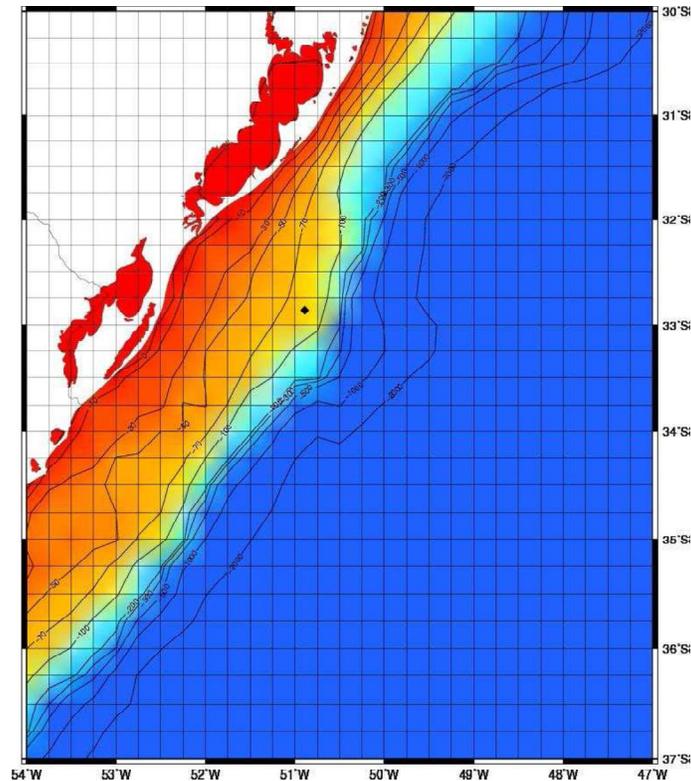
Em trabalhos mais recentes como o de (CUCHIARA *et al*, 2009), que estudou o clima de ondas do Rio Grande do Sul através de modelagem, os resultados foram predominantes para direções de leste (E) e sudeste (SE) com alturas variando entre 1 e 1,5m e períodos de 6 a 14s com médias de 8s (vagas) e 12s (ondulações).

(ROMEU *et al*, 2010), utilizaram o modelo de geração Wave Watch III (WW3) para reconstituir 30 anos de dados de agitação marítima da região oceânica Sul brasileira. Aplicando a rotina Wsplit do próprio modelo numérico aos espectros calculados, cada estado de mar foi decomposto na suas componentes primárias e secundárias. Os histogramas de Altura e Período de ondas por direção de incidência destes 30 anos de dados evidenciaram dois sistemas de ondas bem característicos da região: vagas do quadrante Leste e ondulações do quadrante Sul. Para uma caracterização mais detalhada, os histogramas feitos a partir dos 30 anos de dados foram comparados com histogramas anuais no intuito de se identificar o ano que melhor representava a totalidade dos dados. Para o ano identificado, que foi o ano de 1984 foi aplicada a técnica de agrupamentos e 6 cenários característicos de agitação marítima para a região Sul do estado do RS foram encontrados: (A) ondulação de Leste, (B) vagas de Leste, (C) vagas de Oeste, (D) vagas de Sul, (E) ondulação de Sul e (F) ondulação distante de Sudeste. Como pode ser observado na tabela 1:

**Tabela 1 - Características dos cenários encontrados para Rio Grande-RS de acordo com ROMEU et al, 2010.**

Cenário	Tipo de mar	Direção (°)	Período (s)	% de ocorrência
A	Ondulação ENE	75,5	8,3	25,8
B	Vaga ENE	67,2	5,3	16,9
C	Vaga W	290,4	4,4	5,6
D	Vaga S	178	5,4	8,6
E	Ondulação S	171,8	10,1	27,3
F	Ondulação SE	130,3	13	15,8

Os cenários encontrados pelo autor representam as principais formas de ondas para a costa do Rio Grande do Sul é importante salientar que apesar da tabela indicar 6 mares (A, B, C, D, E, F). De fato, são 5 que contribuem na costa, pois o *cluster* C é decorrente dos ventos que sopram do continente para o oceano e não geram ondas que venham em direção ao litoral estudado, pois o início da pista de geração é o próprio litoral do RS, conforme se pode visualizar na figura 3. Nesta figura há também a localização do ponto de extração dos dados do WW3, em que este ponto foi utilizado para o estabelecimento do regime de onda propostos pelo autor.



**Figura 3 - Local de obtenção dos dados calculados pelo modelo WW3, (32°54'S; 50° 48' W) em águas de profundidade de aproximadamente 100 metros.**

Os resultados de (ROMEU *et al*, 2010) são utilizados neste trabalho como referência para a escolha dos dias em que foram realizadas as saídas de campo que incluem as atividades: medição do perfil batimétrico, da corrente longitudinal e do transporte sedimentar.

A corrente longitudinal (*longshore current*) é a principal corrente atuante nesta região e é responsável pelo transporte sólido na costa (SANTO, 2007). Esta é formada pelos ventos e pelas ondas e constitui o principal transportador lateral de sedimentos, o que contribui para as mudanças na morfologia da praia e dos ambientes litorâneos. A deriva litorânea nesta região é bidirecional, entretanto há indicadores morfológicos que apontam um transporte longitudinal líquido na direção NE, estes indicadores são as desembocaduras dos rios, arroios e lagunas. No caso da desembocadura do canal do Rio Grande, houve erosão do lado leste (Praia do mar Grosso) e deposição ou aumento da largura de praia do lado oeste (Praia do cassino) (CALLIARI, 1980). Há ainda indicadores detectados por FONTOURA (2004) relacionados como o transporte bidirecional, como as condições normais da atmosfera o transporte resultante é pequeno num estágio de quase equilíbrio dinâmico nas proximidades do molhe oeste da barra do Rio Grande. Esta corrente e o transporte são determinados pelo vento atuante na costa. Outra situação interessante ressaltada é o transporte diferenciado para a mesma cota ao longo da costa em condições de eventos extremos.

Há outros tipos de correntes na região como as correntes fluviais que estão associadas às desembocaduras do Arroio Chuí, canal do Rio Grande (principal corrente fluvial que contribui com uma grande quantidade de sedimentos finos) e o canal de Tramandaí que têm importância na sedimentação costeira, aporte de novos sedimentos e modificações locais no padrão de circulação litorânea (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1992).

#### 4.1.3 CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS

As praias localizadas entre Rio Grande e Chuí oscilam entre estágio dissipativos e intermediários, associados a um ou mais bancos paralelos à linha de Costa. (CALLIARI & KLEIN, 1993). A principal fonte sedimentar primária é o complexo ígneo-metamórfico do escudo sul-riograndense e as rochas basálticas do planalto (Formação Serra Geral), que apresentam alta maturidade mineralógica (POMERANCBUM & COSTA, 1972). Atualmente praticamente inexistente fonte continental de areias que abasteça a região costeira, com exceção de uma parcela aparentemente restrita (não mensurada) que pode ser atribuída ao transporte eólico e ao transporte ocasionado pela presença dos córregos de praia, a maior parte dos suprimentos arenosos tem sua origem na ante-praia.

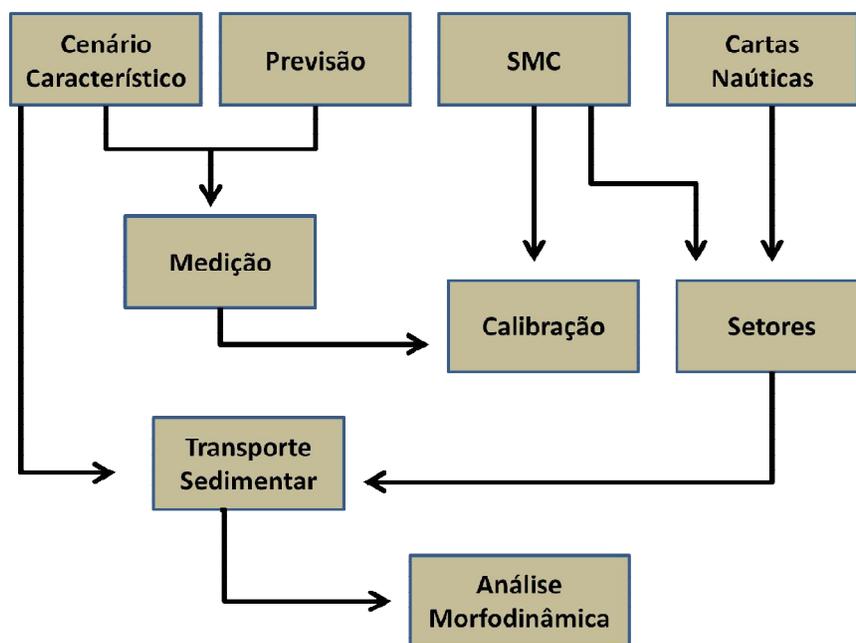
O sedimento encontrado na costa é constituído de areia fina quartzosa e de forma homogeneamente distribuídos. Esta homogeneidade é alterada pela presença de manchas escuras de minerais pesados ao sul e algumas vezes por camadas de lama no Sul do Cassino (SIEGLE, 1996). De acordo com SANTO (2007) na área próxima ao Navio (embarcação encalhada na praia do Cassino, a 20 km do molhe oeste) há um aumento no tamanho médio do grão (2.5 phi) e também nas proximidades de Querência (2,75 phi). O mesmo autor constatou que indo na direção do Navio há aumento da granulometria, e que a areia muda de fina para a média em vários sub-ambientes, com berma mais íngreme que na Querência e conectada a uma praia média composta de areia recente.

Segundo SANTO (2007) a costa é dominada por tempestades que freqüentemente atingem as dunas frontais causando homogeneização da distribuição sedimentar, especialmente onde predominam a areia fina e muito fina. Por isso não existe uma diferenciação pronunciada entre os sub-ambientes das praias, sendo possível destacar, somente, um sub-ambiente: a face da praia.

Existe ainda uma feição próxima ao molhe oeste, denominado como “Três Marias” que corresponde a um vestígio do sistema Barra do Rio Grande, morfologicamente correspondente a um delta de maré vazante entre a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico. (GOULART & CALLIARI, 2008)

## 5 METODOLOGIA

O fluxograma (figura 4) abaixo mostra de forma resumida as etapas que corresponderam à execução do trabalho e ajuda a compreender todos os procedimentos necessários para o desenvolvimento da dissertação.



**Figura 4 – Fluxograma indicando os procedimentos de execução do trabalho**

A primeira fase deste trabalho concentrou-se na calibração do modelo SMC, que só poderia ocorrer para uma condição de mar unimodal específica. As condições de agitação marítima foram acompanhadas através das previsões do modelo WW3 disponibilizadas via internet no site da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Quando fosse ocorrer um condição de mar que representasse um dos cenários característicos do clima de ondas da região identificado por (ROMEU *et al*, 2010) a saída de campo era preparada.

Após a confirmação dos cenários ia-se para o campo e media-se, a corrente, o vento (mais como indicativo de corrente, pois este parâmetro não é atribuído no Modelo) e coletava-se sedimento pelo método de Kraus. Após o campo, realizava-se os cálculos de transporte sedimentar e estes eram confrontados ou comparados com os valores de transporte encontrado pelo modelo SMC rodado para as mesmas condições de mar, vários parâmetros do modelo foram ajustados até que o resultado computacional se aproximasse do resultado obtido no campo. A partir daí, pode-se partir para a etapa seguinte deste trabalho, que foi a divisão da costa em setores de mesma orientação em relação ao norte, a identificação desses trechos foi realizado com a visualização das cartas náuticas da DHN. Em seguida, já com o modelo validado e os segmentos de costa

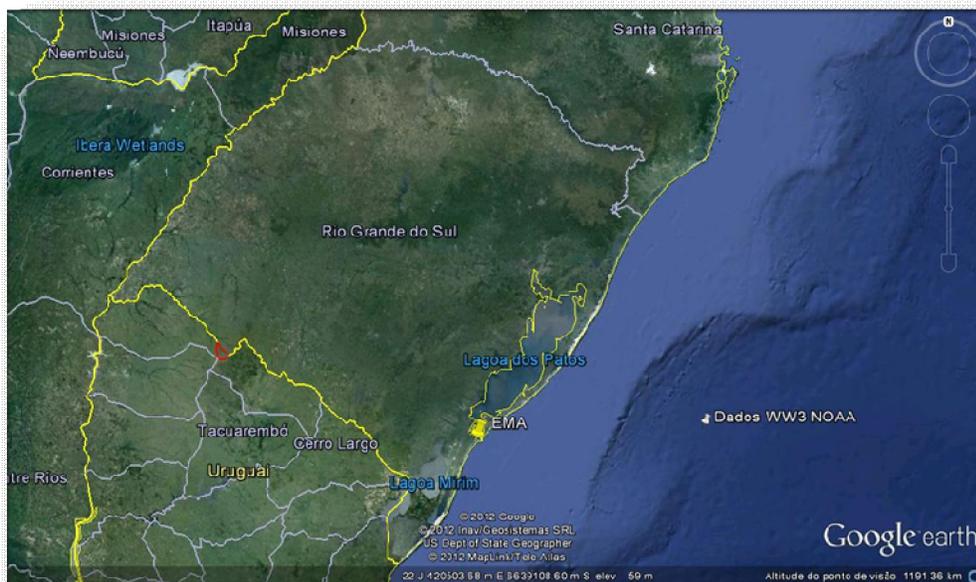
identificados, foi possível realizar as simulações numéricas para cada um dos cenários característicos do clima de ondas em cada um dos diferentes setores da costa sul do Rio grande do Sul.

Assim as etapas de realização deste trabalho puderam ser divididas em atividades de pré-campo (A), campo (B) e pós-campo (C).

### 5.1 ATIVIDADE PRE-CAMPO (A)

As atividades de pré-campo se concentraram no acompanhamento das condições do mar através da previsão disponibilizada pela NOAA no endereço: (<ftp://polar.ncep.noaa.gov/pub/waves>). Depois de se obter os dados de agitação marítima (para sete dias), estes eram analisados através da confecção de espectros direcionais, os quais permitem a correta identificação das condições de mar unimodal utilizadas neste trabalho.

O ponto de obtenção dos dados de previsão está representado na figura 5, e localiza-se em águas profundas, com profundidade de aproximadamente 1500 metros, sendo seus dados de localização, (32°00'S; 48° 75' W), os espaçamentos de grade utilizados pelo modelo WW3 são de 1° x 1.25°. Esta saída dos dados da NOAA foi utilizada no acompanhamento da previsão do estado de mar para organizar as saídas de campo.



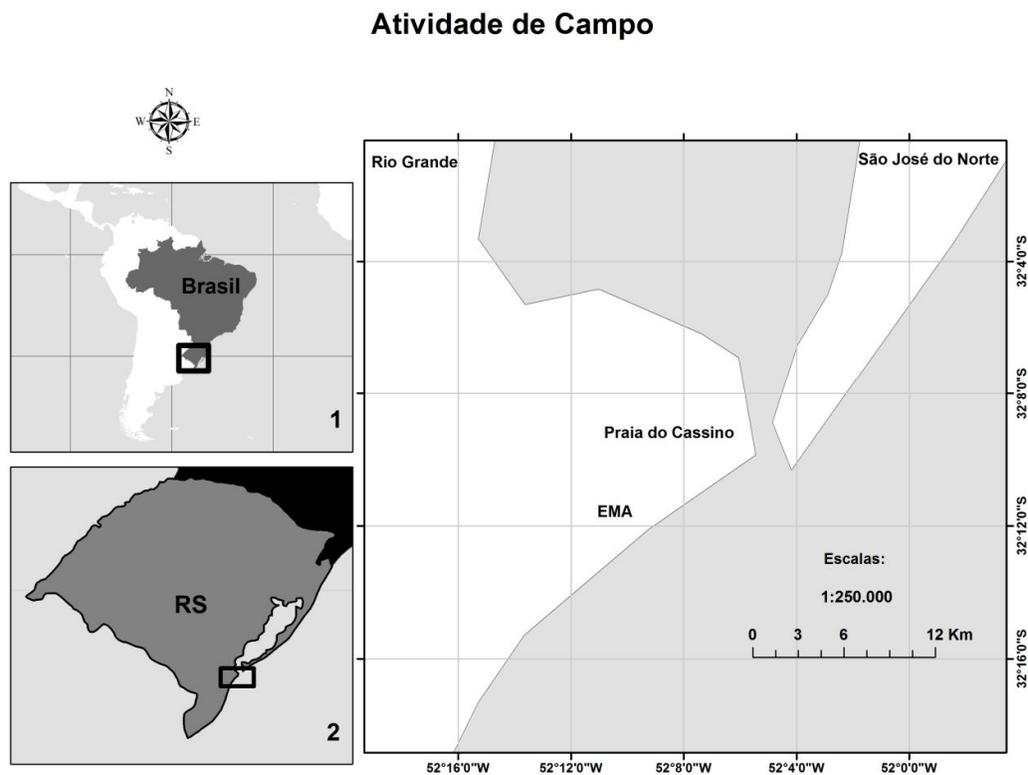
**Figura 5 - Localização da saída dos dados do WW3 da NOAA**

Este monitoramento permitiu que as coletas fossem realizadas exatamente para condições muito similares do clima de ondas da região identificadas por (ROMEU *et al*, 2010).

Quando uma condição bem característica do clima de ondas identificado para local estava para ocorrer, este era um momento que tal cenário poderia se confirmar e a saída de campo ratificada.

## 5.2 ATIVIDADE DE CAMPO (B)

Essencialmente para a realização das saídas de campo, foi escolhido um ponto ao longo da costa que oferecesse uma melhor logística e que garantisse condições de êxito na obtenção dos dados. Foi escolhido um ponto próximo a Estação Marinha de Aqüicultura (EMA), localizada na figura 6, onde se podia contar com a estrutura oferecida pela instituição para realizar os procedimentos da etapa (B) de forma positiva, já que as coletas dos dados de campo são fundamentais para validação e calibração do modelo empregado (SMC).



**Figura 6 - Localização das atividades de campo**

A etapa de campo foi sendo realizada paulatinamente, à medida que uma determina condição do regime de ondas da região tivesse sido identificada na véspera.

Então após a confirmação do cenário, ia-se para a prática de campo que tinha início na medição da direção ortogonal a linha de costa a partir de um ponto conhecido. Este ponto é um ferro exposto que demarcava um poço que fica situado atrás das dunas, próximo a EMA. Este ponto, em verdade, já é conhecido o seu ângulo em relação ao norte através das cartas náuticas cujo valor corresponde a  $134^\circ$ . A figura 7 ilustra o ponto em relação à costa.



**Figura 7 - Esquema de orientação ortogonal realizado no trabalho**

No caso, com o manuseio da bússola, de acordo com a figura 8, marcava-se o referido ângulo e obtêm-se a direção ortogonal (linha tracejada na Figura 7). A partir disso mediu-se com a trena a distância desta linha, que ia do poço (ferro exposto) até a linha d'água, no qual se utilizou uma baliza para marcar o ponto próximo à água. De acordo com a figura 9.



**Figura 8 - Manuseio da bússola e obtenção da ortogonal à linha de costa**



**Figura 9 - Baliza próxima a Linha d'água auxiliando a medição da distância da linha ortogonal**

A partir da primeira baliza, posicionada próximo à linha d'água, posiciona a segunda que é determinada a uma profundidade possível de trabalho, medindo a

distância de uma em relação à outra. Esta, na medida do possível, localiza-se o mais distante possível da zona de arrebenção.

Apesar do software SMC não utilizar dados de vento, durante as práticas de campo fazia-se medições da variável a uma altura de aproximadamente 2m no que diz respeito a sua direção e intensidade a partir da utilização da biruta e do anemômetro, respectivamente, conforme é possível observar na figura 10.



**Figura 10 - Medição da intensidade do vento através do anemômetro a 2m de altura**

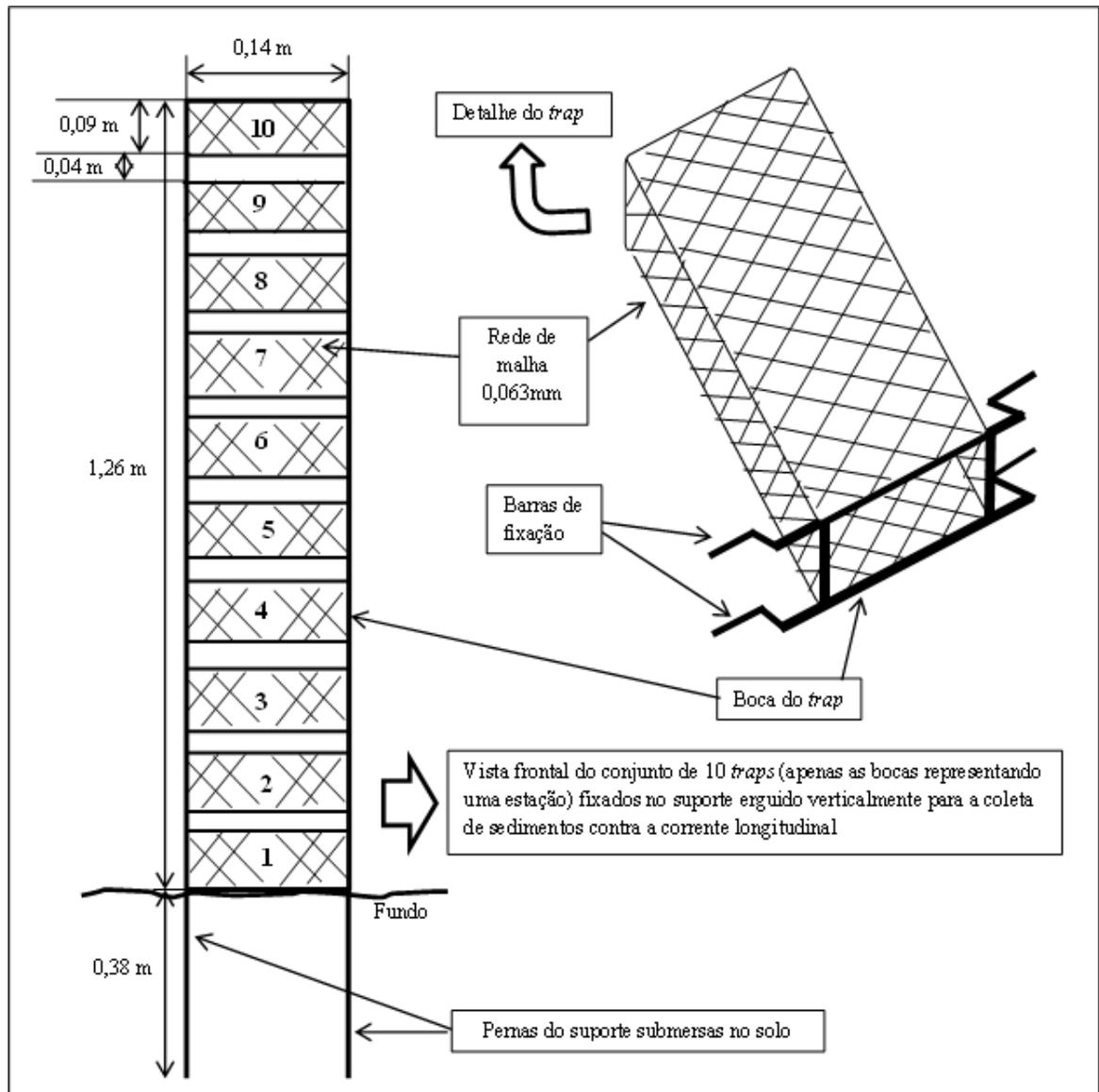
Essa medição serviu para compreender possíveis limitações que o programa não conseguiu inferir nos resultados. Todavia para a prática de campo, a obtenção dos parâmetros de vento, ajuda, a saber, a direção da corrente longitudinal.

A medição da corrente longitudinal (intensidade e direção) foi realizada por meio de uma bóia de deriva, um cronômetro, e uma trena. O derivador foi confeccionado a partir de uma garrafa de refrigerante de 2 litros do tipo “pet” que fora liberada na zona de arrebenção entre o ponto de quebra e a linha de praia. No momento que o derivador é liberado é também marcada a posição com a baliza e simultaneamente acionada o cronômetro. A trajetória da garrafa foi acompanhada por um período adequado de tempo, geralmente 2 minutos e 30 segundos, dependendo da velocidade da corrente. O ponto final é marcado com outra baliza e a distância para o ponto de liberação é medida com a trena em linha reta paralela a linha de praia. Posteriormente foi calculada a velocidade média da corrente a partir da Equação 5.1. Em campo, a corrente longitudinal, mostrou desempenho diferente para cada cenário.

$$V_c = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (5.1)$$

“Na expressão (5.1),  $V_c$  é a velocidade média da corrente,  $\Delta S$  é o espaço compreendido entre as balizas e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo”.

Os procedimentos de coleta de sedimento foram através do método de Kraus, pois diferentemente dos outros métodos como traçadores, de acumulação e sensores óticos, o de Kraus, baseado em armadilhas portáteis, é de mais fácil manipulação e construção, economicamente viável e apresenta resultados considerados confiáveis pela literatura especializada. A armadilha de sedimentos consiste numa estrutura metálica que suporta um conjunto de redes de captura nas quais são aprisionados os sedimentos em suspensão e as cargas junto ao fundo. São ao todo 10 redes, numeradas de baixo para cima. Elas são de nylon com diâmetro de 0,062mm construídas com poliamida e apresentam três tamanhos de comprimento sendo: 1 a 6 têm 60 cm; 7 a 8 70 cm; 9 a 10 110 cm, conforme a figura 11.



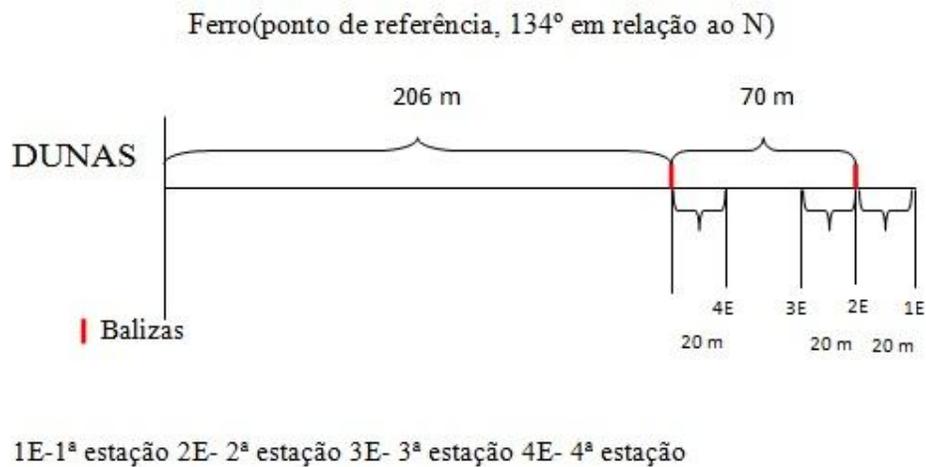
**Figura 11 - Modelo de armadilha portátil utilizada.**

A montagem do equipamento é composta por 10 “traps” que apresentam uma “boca” com área de  $126 \text{ cm}^2$  ( $14 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$ ), que são presos à estrutura de ferro por meio de abraçadeira de plástico com suas respectivas redes que são dobradas e fechadas com liga de borracha.

A armadilha foi instalada na zona de surf, sendo que sua fixação aconteceu posicionando as entradas das redes no sentido contrário ao da corrente longitudinal e os “pés” da estrutura completamente enterrados no fundo, até que a entrada da primeira rede toque o mesmo. Durante a operação, os integrantes ficavam posicionados atrás da armadilha, entre a mesma e a praia para não interferir na coleta e para evitar acidentes

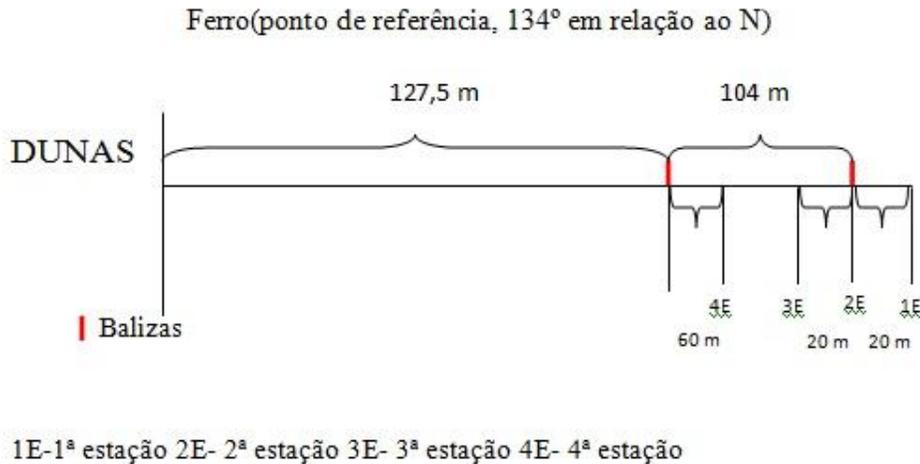
devido à incidência das ondas. Cada coleta realizada aconteceu num intervalo de tempo de 5 minutos. Por último as redes contendo as amostras são retiradas da estrutura metálica, numeradas de 1 a 10 e guardadas em sacos plásticos. Todos os detalhes sobre o projeto, construção e operação das armadilhas acima mencionadas já adaptados para uso na região de estudo e podem ser encontrados em FONTOURA (2004).

Foram feitas 5 saídas de campo para coleta de sedimentos, mas só foi possível ser utilizada a 1ª, 3ª e a 5ª coletas, pois nas demais, houve mistura dos *clusters* que inviabilizaram sua utilização. Na 1ª coleta as estações e as distâncias entre si e em relação ao ponto de referência ficaram representadas de acordo com a figura 12.



**Figura 12 - Representação das estações de coleta e distância em relação ao ponto de referência na 1ª coleta**

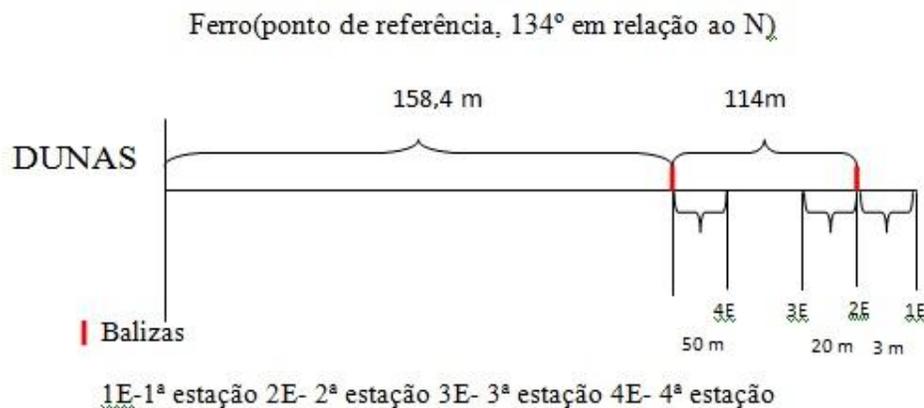
Na 3ª coleta as estações e as distâncias entre si e em relação ao ponto de referência ficaram representadas de acordo com a figura 13.



**Figura 13 - Representação das estações de coleta e distância em relação ao ponto de referência na 3ª coleta**

Durante a terceira coleta, ocorreu um problema na estação de número 3, a rede do “trap”4 rasgou, perdendo o sedimento que se encontrava aprisionado. Portanto o resultado final certamente indicaria um valor maior de transporte do que aquele encontrado neste trabalho.

Na 5ª coleta as estações e as distâncias entre si e em relação ao ponto de referência ficaram representadas de acordo com a figura 14.



**Figura 14 - Representação das estações de coleta e distância em relação ao ponto de referência na 5ª coleta**

No início das atividades de campo foi realizado um perfil batimétrico transversal da praia com a finalidade de estabelecer os pontos do perfil onde seriam feitas as coletas de

sedimento. Para sua realização foi utilizada uma estação total, marca Nikon, modelo DTM-330 e um baliza regulável com um prisma refletor de acordo com a figura 15.



**Figura 15 - Equipamentos utilizados para realização do perfil de praia**

As medições das cotas batimétricas tiveram início próximas às dunas frontais e foram feitas a cada 5m até a profundidade máxima que o operador conseguiu chegar com segurança. Os valores do perfil serviram também para poder calcular a área da secção transversal úmida correspondente as 4 estações de coleta de sedimentos.

### **5.3 ATIVIDADE POS-CAMPO (C)**

O trabalho após as respectivas saídas de campo pode ser dividido em duas partes distintas, a primeira; realizada no laboratório de sedimentologia, que foi o processamento das amostras e cálculo do transporte de sedimento na seção transversal à praia e a segunda parte; com a utilização do Sistema de Modelagem Costeira (SMC). Inicialmente o modelo foi aplicado para a região da EMA para que pudesse ser calibrado em função dos resultados das saídas de campo, a seguir, foram realizadas simulações numéricas para os diferentes segmentos de costa identificados e pode-se obter os valores de transporte sedimentar que permitiram a análise morfodinâmica da região quanto erosão/acresção, bem como os valores líquidos de transporte e taxas correspondentes para cada setor estudado.

### 5.3.1 LABORATÓRIO DE SEDIMENTOLOGIA

#### 5.3.1.1 PROCESSAMENTO DA AMOSTRA E CÁLCULO DO TRANSPORTE NA SEÇÃO TRANSVERSAL DE PRAIA

Após as coletas, a amostra foi processada em laboratório que consistiu na lavagem com água doce e secagem na estufa em temperatura de 80°C, em seguidas foram peneiradas e pesadas, tudo conforme a metodologia preconizada por FOLK & WARD (1957).

O cálculo de transporte sedimentar foi realizado a partir da integração do fluxo de sedimento tanto na horizontal como na vertical. O fluxo (volume/ tempo/ área) de sedimentos entre duas redes adjacentes (espaço entre duas redes sucessivas) é dado pela integração linear de seus valores, dada pela Equação 5.2 abaixo:

$$\Delta F_i = \frac{\left(\frac{F_{i+1}}{Z_{i+1}} + \frac{F_{i-1}}{Z_{i-1}}\right)AZ_i}{2} \quad (5.2)$$

“Na expressão (5.2),  $\Delta F_i$  é a quantidade de sedimentos que flui entre duas redes adjacentes,  $F_i + 1$  e  $F_i - 1$  são as quantidades coletadas pelas redes,  $Z_i + 1$  e  $Z_i - 1$  representam a dimensão vertical da boca superior e inferior e  $\Delta Z_i$  é a distância vertical medida entre duas redes adjacentes.”.

O fluxo total será calculado pelo somatório de fluxos individuais ( $F_i$ ) que passa em cada rede somado aos fluxos intermediário que passa entre cada duas redes adjacentes ( $\Delta F_i$ ). O fluxo total de material sólido por estação é dado pela Equação 5.3 abaixo:

$$I = \sum_{i=1}^N (F_i) + \sum_{i=1}^{N-1} (\Delta F_i) \quad (5.3)$$

“Na expressão (5.3),  $\Delta F_i$  é a quantidade de sedimentos que flui entre duas redes adjacentes,  $F_i$  representa o fluxo individual que passa em cada rede e N é o número de redes.”.

A vazão de transporte longitudinal é expressa pela quantidade de sedimento que passa pela área úmida da secção transversal da zona de surf na unidade de tempo. Assume-se que a vazão de transporte entre duas estações de medição adjacentes é a média dos transportes totais registrados pelas duas estações. O valor do transporte longitudinal total é dado pela Equação 5.4:

$$Q_t = \sum \frac{l_i + l_{i+1}}{2} A \quad (5.4)$$

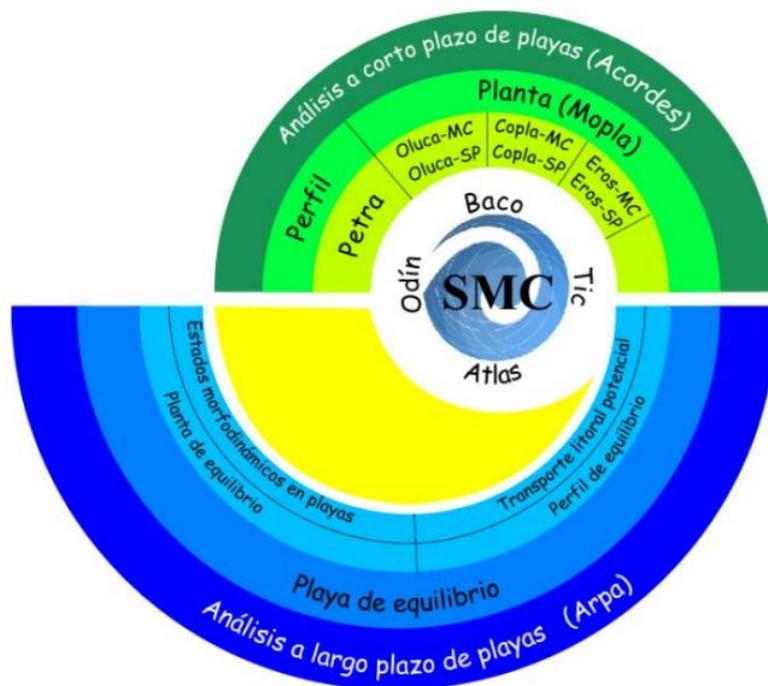
“Na expressão (5.4),  $Q_t$  é a vazão total de sedimentos que passa através da secção transversal de área úmida,  $l_i$  e  $l_{i+1}$  são os fluxos de sedimentos que passam por “i” e “i+1”, respectivamente e  $A$  é a área úmida transversal do segmento compreendido entre as estações “i” e “i+1”.”.

### 5.3.2 SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA-SMC

Para poder utilizar o modelo, foi necessário ajustar toda a batimetria disponível para o lugar de interesse, tendo como fonte as cartas náuticas disponibilizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN). As cartas utilizadas para estudo e digitalização foram as seguintes: 90 (Da Ilha de Santa Catarina a Maldonado), 23600 (Do Rio Grande ao Arroio Chuí), 2210 (Costa do Albardão), 2112 (De Rio Grande a Feitoria) e 2110 (Porto do Rio Grande).

As cartas náuticas da região de estudo tiveram utilidade na divisão da costa Sul do Rio Grande do Sul em segmentos que representassem direções definidas. A definição dos trechos obedeceu ao critério de direção predominante para cada trecho em relação ao norte.

O SMC é composto por uma série de modelos numéricos que estão organizados em termos de escalas espaciais e temporais. O programa apresenta cinco módulos, (i) Pré-processo: caracteriza as informações de entrada para as etapas seguintes; (ii) Acordes: utiliza as ferramentas numéricas que possibilitem a análise morfodinâmica para a região costeira numa escala espacial/temporal de curto prazo; (iii) Arpa: Realiza a mesma aplicação que o Acorde, porém em escala espaço/temporal de médio em longo prazo; (iv) Modelador do terreno: altera os contornos laterais e de fundo possibilitando inserir estruturas costeiras e (v) tutor: sistema de informação teórica, conceitual. A estrutura do SMC é mostrada na figura 16 abaixo:



**Figura 16 - Esquema do Software SMC**

O módulo de “*Análisis a corto plazo de playas*” (Acordes) é composto de modelos de evolução morfodinâmica bidimensional na vertical (perfil) e na horizontal (planta) que permitem analisar as mudanças na praia que ocorrem em resposta a um evento de tempestade e para verificar se a estabilidade e requisitos de funcionalidade de um projeto de restauração de praia foram alcançados, além de fornecer informações sobre processos costeiros (sistemas de correntes e transporte potencial) que ajudam na busca da melhor solução frente à morfodinâmica de praia (GIOC 2003a, GONZÁLEZ *et al.* 2007). O programa usado foi de planta chamado de *Morfodinâmica de playas* (Mopla).

O Mopla permite simular, em uma zona litorânea, a propagação de onda desde grandes profundidades até a linha de costa, sendo que estes resultados entram nos cálculos para obter as correntes induzidas pela quebra da onda na zona de arrebentação, que por sua vez são usados para simular a evolução morfodinâmica de uma praia (o transporte de sedimentos e a evolução da batimetria) (GIOC 2003d). O Mopla é composto de 6 modelos numéricos que estão divididos em 2 grupos: o que modela a partir da propagação de um trem de ondas monocromáticas e o que modela a propagação de um estado de mar através de um espectro de energia de onda (usado neste trabalho) (GIOC 2003d).

O segundo grupo é aplicado a eventos extraordinários ou em casos onde se deseja uma maior precisão das alturas de onda (onde há diques ou obras em geral), seus modelos são os seguintes (GIOC 2003d):

- Oluca-sp – modelo parabólico de propagação do espectro de onda;
- Copla-sp – modelo de correntes induzidas pela quebra do espectro de onda;
- Eros-sp – modelo de erosão-sedimentação e evolução da batimetria em praias a partir do espectro de onda.

As equações são resolvidas através do método de diferenças finitas sobre uma malha retangular. A resolução numérica das equações requer transformar o domínio contínuo em um domínio discreto, formado por uma rede mais ou menos densa de pontos ou nós nos quais se definem cada uma das variáveis que intervêm no problema (GIOC 2003b,c,d,e).

A seguir, algumas das principais hipóteses são tomadas pelos modelos (GIOC 2003b,c,d,e):

- O fluido é considerado não viscoso, homogêneo (para o modelo de correntes Copla-sp), incompressível e de densidade constante;
- O fluxo é considerado irrotacional e estacionário;
- Quanto à dinâmica, a pressão é constante na superfície livre, e a ação do vento e da aceleração de Coriolis não são consideradas;
- Para os contornos, o fundo apresenta inclinação suave, ou seja, menores que 1:3 (18°);
- Na propagação a não linearidade é fraca, ou seja, a dependência da equação de dispersão com a altura de onda significativa (espectro) é fraca; modelo não linear Stokes-Hedges.

As principais limitações são (GIOC 2003b,c,d,e):

- Para garantir a condição de declive suave do fundo devem-se evitar mudanças bruscas de profundidade;
- O ângulo de propagação na primeira fila ( $x=0$ ) da malha deve estar dentro da abertura  $\pm 55^\circ$ , com relação ao eixo de propagação principal (eixo  $x$ );
- O modelo foi desenvolvido principalmente para ser aplicado em zonas costeiras e praias, onde os fenômenos de propagação dominante são a refração, assoreamento, difração e quebra em praias. Não é aplicável em casos onde a reflexão é um fenômeno importante, como é o caso de ressonância e agitação em portos.

Devido ao planejamento teórico e formulação numérica serem muito extensas, e como este trabalho não tem por objetivo a discussão das equações e sim sua aplicação, procurou-se aqui explicar resumidamente a essência de cada modelo como virá a seguir. Todas as equações e descrição do passo a passo dos modelos podem ser encontradas em GIOC (2003b,c,d,e).

(GONZÁLEZ *et al*, 2007) descrevem o modelo Oluca como uma ligeira combinação dos modelos de refração e difração (compostos pelo efeito de *shoaling*, refração, dissipação de energia por fricção de fundo e quebra de onda, difração e interação onda-corrente) que simulam o comportamento de uma condição de mar aleatória, no caso do Oluca-sp. Ainda segundo estes autores, o modelo é baseado na aproximação parabólica da equação de declive suave e que inicialmente foi baseado no modelo REF/DIFS, de (KIRBY & ÖZKAN, 1994).

No Oluca-sp, a dissipação por quebra de onda pode ser empregada segundo os modelos de (BATTJES & JANSSEN, 1978), (THORNTON & GUZA, 1983) e

(RATTANAPITIKON & SHIBAYAMA, 1998), além da inclusão do efeito de espectro de frequência (TMA ou medidas de campo) e espectro direcional (GIOC 2003b, GONZÁLEZ *et al.*, 2007). Outras opções dadas são: o tipo de modelo, podendo ser linear, de Stokes ou composto; na dissipação por fundo pode se optar entre aquela por fundo poroso, camada limite turbulenta ou camada laminar; se os contornos laterais são abertos ou fechados. O modelo em termos de gastos financeiros e de esforços computacionais é bastante favorável, pois é extremamente rentável e chega a ser, aproximadamente, 50 vezes mais rápido que os modelos elípticos de declive suave com a mesma configuração (GONZÁLEZ *et al.*, 2007).

O resultado do modelo Oluca-sp é o campo de onda (altura significativa da onda e direção do fluxo médio de energia) em todo o domínio de cálculo (GIOC 2003b).

O Copla-sp resolve as equações da conservação de massa e momento verticalmente integrados em duas dimensões horizontais, deduzidas a partir das equações de Navier-Stokes, utilizando como dados de entrada o campo de onda de tensão de radiação oriundo do modelo Oluca-sp (GONZÁLEZ *et al.* 2007).

Os tensores de radiação, devido a uma onda irregular, são calculados com base nos tensores que geram cada uma das componentes de energia. sendo que estas se propagam formando um ângulo  $\theta$  com relação ao eixo x e a soma linear de todas essas em um ponto do domínio determinam as expressões dos tensores de radiação (GIOC 2003c).

O modelo é capaz de operar com a rugosidade hidráulica (coeficiente de Nikuradse) e flutuações turbulentas (coeficiente de viscosidade turbulenta) variantes no tempo (GONZÁLEZ *et al.* 2007).

Os resultados do modelo são o campo vetorial de velocidades e o campo de níveis. Estes resultados numéricos são correspondentes as médias da coluna d'água (GIOC 2003c).

O modelo resolve a equação de fluxos de sedimento na zona de surfe e a mudança da batimetria associada às variações do transporte de sedimento, sendo que utiliza como condições de entrada aquelas fornecidas pelo sistema SMC a partir das saídas dos modelos Oluca-sp e Copla-sp, e também os dados das características do sedimento da praia (GIOC 2003e).

O Eros-sp fornece dois tipos de modelos quanto à interação das componentes morfodinâmicas: o modelo de erosão-sedimentação inicial (ESI) que evolui na variação da batimetria sem considerar a interação entre os componentes, ou seja, não considera a influência da variação de fundo na hidrodinâmica (onda e correntes), logo permite conhecer a tendência inicial da erosão-sedimentação; e o modelo de evolução morfodinâmica (MEM) que considera a interação entre a variação do fundo e as condições hidrodinâmicas, possibilitando ter uma estimativa das variações da batimetria (GIOC 2003e). O modelo MEM leva muito mais tempo computacional que o ESI, pois ele recalcula tanto a onda como as correntes (GIOC 2003e). O modelo adotado no trabalho foi o ESI por ser mais rápido e já fornecer o que é de interesse.

Para o cálculo do transporte de sedimento, pode-se escolher entre duas formulações: a de BAILARD (1981) e a de SOULSBY (1997) (GIOC 2003e, GONZÁLEZ *et al.*, 2007). Neste trabalho foi utilizada a de SOULSBY (1997) conforme

apresentado na Equação-05 que deduz uma expressão analítica experimental que aproxima a formulação para onda-corrente de VAN RIJN (1993) e evolui tanto o transporte em suspensão como o de fundo (GIOC 2003e).

$$q_t = A_s \bar{U} \left[ \left( \bar{U}^2 + \frac{0.018}{C_D} U_{rms}^2 \right)^{\frac{1}{2}} - \bar{U}_{cr} \right]^{2.4} \quad (5.5)$$

“Na expressão (5.5),  $q_t$  é o transporte de fundo e de suspensão,  $A_s = A_{sb} + A_{ss}$ ,  $\bar{U}$  a velocidade na vertical,  $C_D$  é coeficiente de fricção devido a corrente,  $U_{rms}^2$  a velocidade orbital quadrática média e  $\bar{U}_{cr}$  é a velocidade crítica no início do movimento”.

$$A_{sb} = \frac{0.005h \left( \frac{D_{50}}{h} \right)^{1.2}}{[(s-1)gD_{50}]^{1.2}} \quad (5.6)$$

$$A_{ss} = \frac{0.0012D_{50}D_*^{-0.6}}{[(s-1)gD_{50}]^{1.2}} \quad (5.7)$$

“Nas expressões (5.6 e 5.7),  $h$  é a profundidade,  $D_{50}$  diâmetro médio do grão,  $s$  densidade relativa,  $g$  é a aceleração da gravidade e  $D_*$  diâmetro da partícula”.

A validação dos 3 modelos do Mopla foi feita através do confronto de medições de campo e testes de modelo físico em canal e bacia de ondas, sendo comparados com outros modelos numéricos similares por (NICHOLSON *et al*, 1997). Mais detalhes sobre a validação dos modelos do Mopla podem ser encontrados em GIOC (2003b,c,d,e).

Após isso, calculou-se a profundidade de fechamento para cada cenário, de acordo com HALLERMEIER (1978) e apresentada na Equação-06.

$$D_c = 2,28 H_s - 68,5 \left( \frac{H_s^2}{gT^2} \right) \quad (5.8)$$

“Na expressão (5.8),  $D_c$  é a profundidade de Fechamento (“Depth of Closure”),  $H_s$  é a altura de onda,  $g$  é a aceleração da gravidade e  $T$  é o período de onda”.

### 5.3.2.1 CALIBRAÇÃO

Para cada situação identificada para as saídas de campo, houve ainda a necessidade de fazer um cálculo aproximado das transformações sofridas pelas ondas, ao propagarem-se de águas profundas (saída do WW3) até águas intermediárias, mais precisamente até a batimétrica de 15m, (onde o SMC inicia seus cálculos). Para isso

utilizou-se a lei de Snell (Equação 5.9) para encontrar o ângulo de propagação da onda em relação à linha de costa e a respectiva altura na batimétrica em questão.

$$\frac{\sin \theta}{C} = \frac{\sin \theta_0}{C_0} \quad (5.9)$$

“Na expressão (5.9),  $\sin \theta$  é o seno do ângulo em água profunda,  $C$  a celeridade em águas profundas,  $\sin \theta_0$  o seno do ângulo em águas intermediárias e  $C_0$  a celeridade em águas intermediárias.”.

Na calibração realizada numa região próxima a onde foi feitas as coletas de campo, isto é, próximo a EMA, colocou-se uma malha computacional no qual a partir dela propagaram-se as cinco condições ondulatórias identificadas. O modelo SMC permite propagação com ângulo de abertura  $\pm 55^\circ$ , então houve a necessidade de posicionar a malha de modo a permitir que todos os cenários pudessem ser propagados da mesma malha, pois deste modo a malha iniciaria a realizar os cálculos com batimetria relativamente constantes ao longo de uma mesma coluna (paralelo a costa) a medida que fosse se deslocando em uma linha (perpendicular a costa), já que esta condição também evita discrepâncias no cálculo numérico.

Esta etapa, a calibração, do software SMC pode ser realizada, consistindo em executar o programa e confrontar os resultados obtidos no software com os resultados obtidos através dos dados de campo.

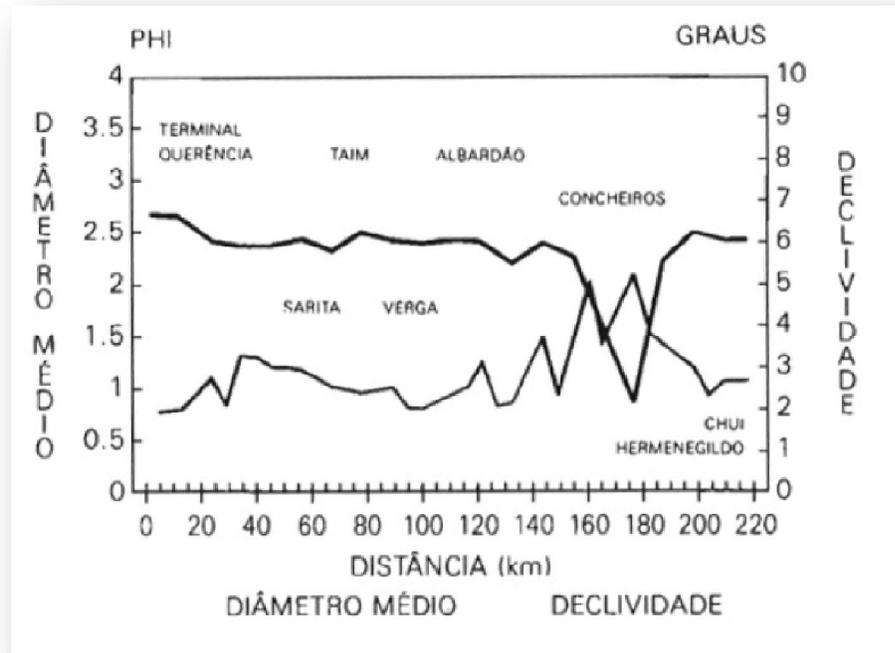
Os parâmetros ajustados referentes à onda (direção, altura, parâmetro de dispersão), corrente (coeficiente de Nikuradse, tempo/interações), sedimento (D50, D90, densidade da água e do sedimento) e ao espaçamento, foram considerados para a condição dos mares com Vaga de NE, Ondulação de S e SE. Estas simulações no modelo foram feitas na região próxima a Estação Marítima de Aquicultura da FURG (EMA), procurando aproximar as condições observadas na natureza. Para a obtenção de informações sobre o tamanho médio do grão na área de estudo, foi utilizado o resultado do trabalho de (CALLIARI & KLEIN, 1993), onde consta o D50 médio para a área em questão, conforme apresentado na figura 17.

Ainda sobre os parâmetros do Modelo SMC que foram ajustados, eles são explicitados abaixo:

- Espaçamento(  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ )- tamanho de 35m que permitiu a realização dos cálculos no SMC. Espaçamentos detalhados (espaçamentos inferiores a 5m) podem contribuir com mais precisão nos resultados do modelo, porém a base de dados oriunda de cartas náuticas pareceu ser uma limitação assim como a necessidade de máquinas mais potentes e sofisticadas que permitam interpolações mais detalhadas;
- Ajuste da frequência de pico (Hz) e conseqüentemente o Período (T) e a altura (Hs) referentes aos valores encontrados nas coletas durante as práticas de campo;
- O parâmetro de dispersão é um valor que corresponde, em regra geral, se a energia no espectro de frequência está concentrada ou dispersa,

condição ondulatória de vaga (como a de NE) teve valor maior que as ondulações (como as de S e SE) por ter a sua energia de onda mais espalhada. Isto pode ser percebido ao visualizar as condições de mar e a energia associada nas Figuras 19, 21 e 23.

- Em relação ao tempo das correntes, intervalo de tempo e total, representam as interações dos cálculos, isto é, a interação é dada pela divisão do tempo total pelo intervalo de tempo, ao passo que quanto mais energética for a condição ondulatória mais interações são necessárias no cálculo do modelo.
- O Coeficiente de Nikuradse foi estabelecido com referência a (SPROVIERI, 2011) que usou este valor (1,8), mas foi verificado que o mesmo é coerente com base em US ARMY CORPS OF ENGINEERS, CHAP. 6 (2002 ), no qual o valor do coeficiente de Nikuradse para praias relativamente planas são próximo do diâmetro que compões o lugar. O valor estabelecido pareceu corresponder para as condições observadas na praia, uma vez que o este apresenta tendências dissipativas.
- Os valores do D50 foram estabelecidos de acordo com o disponível na literatura, no caso, tamanho médio do grão, um tamanho de grão que representa a mudança da classe de areia de muito fina para fina, de acordo com a escala de Wentworth assim como os valores de D90 e  $\phi$  ( $^{\circ}$ ), ângulo de atrito.
- Os valores dos demais parâmetros (encontrados na tabela 8) são os que não foram ajustados e são os valores default do Modelo.



**Figura 17 - Figura do Diâmetro médio da Área de Estudo retirado de (CALLIARI & KLEIN, 1993).**

Ainda sobre o modelo para as correntes foi necessário impor as condições de contorno. A Primeira condição é comum para os modelos propostos e é a conhecida equação da continuidade, enquanto que a segunda condição foi assumir que as viscosidade do fluxo são constante. O modelo ainda apresenta um filtro suavizador que elimina valores incoerentes. Durante a calibração e os sucessivos testes dos resultados com relação aos contornos, verificou que o resultados do centro da malha computacional quanto próxima a fronteira apresentavam valores coerentes e portanto considerou que o filtro do SMC parece ser eficiente.

### 5.3.2.2 APLICAÇÃO

Após a calibração, que foi feita na área do setor 1 (Cassino), o modelo encontrava-se validado o que permitia simular os cenários para os diferentes setores. Em cada setor estudado foi repetida a mesma configuração do modelo calibrado e somente no setor seis (concheiros do albardão) optou-se por um valor diferente para o tamanho médio do grão (D50), pois neste lugar o sedimento é maior do que nos demais (0,210mm). Por outro lado, dos cinco cenários de ondas encontrados por (ROMEU *et al.*, 2010) dois não foram utilizados na calibração do modelo, pois no período monitorado, não houve ocorrência destes dois cenários de forma unimodal, todavia eles foram simulados utilizando-se os parâmetros médios que representam o centro de

gravidade em termos de período e direção. As alturas de onda desses dois casos foram consideradas um valor hipotético intermediário levando em consideração o máximo e o mínimo das alturas para os respectivos casos, isto é, considerou neste trabalho 2,5m a altura de ondas em águas profundas.

Na região central de cada setor foi colocada uma malha computacional de tamanho similar a que foi ajustada para o setor do Cassino (setor 01), com aproximadamente 12Km longitudinalmente a linha de praia. Para calcular o transporte de sedimento adotou-se o procedimento de realizar a soma dos valores brutos obtidos da computação de cada célula da malha do SMC, sendo que os valores que tinham orientação para nordeste (NE) convencionou-se como positivos (+) e os valores brutos para sudoeste (SW) como negativos (-). O transporte líquido corresponde à diferença entre ambos, através da soma algébrica entre os mesmos. Foi determinada também a taxa de transporte longitudinal por metro de praia para cada trecho eleito neste trabalho. Após isso, para obter o valor de transporte anual, foi considerada a participação (em dias do ano) de cada tipo de mar sugerido no trabalho de ROMEU et al (2010).

Posteriormente realizou-se a análise do balanço sedimentar dos diferentes setores para averiguar quais apresentam condição de erosão, acresção ou estabilidade, a partir das diferenças na entrada e saída líquida de sedimentos.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

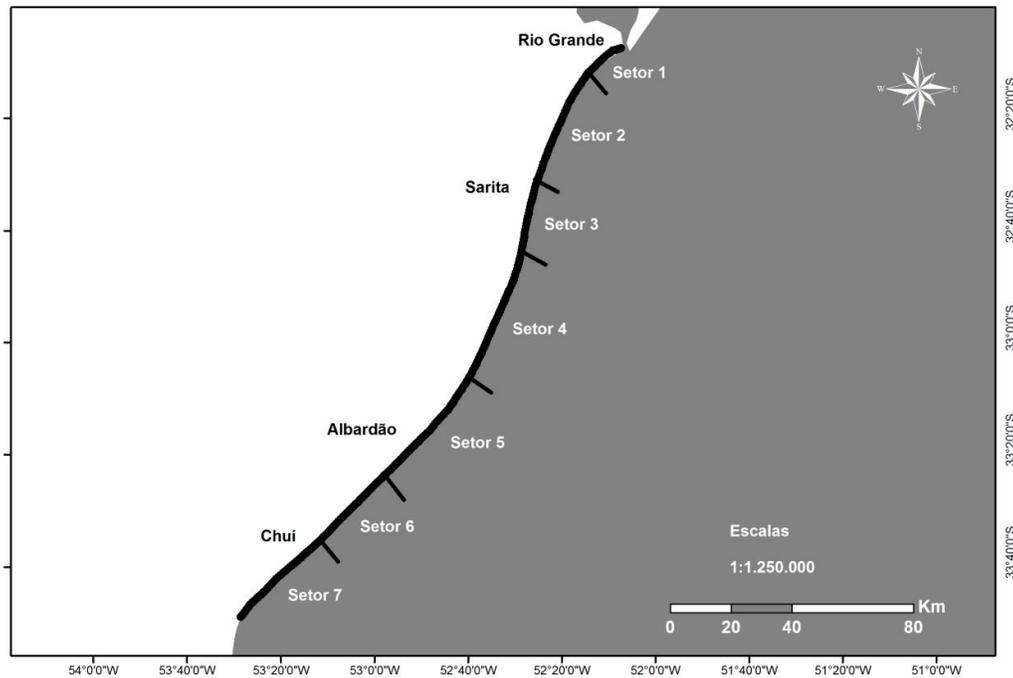
### **6.1 DIVISÃO DO LITORAL EM SETORES**

As cartas náuticas da região de estudo foram utilizadas para a divisão da costa Sul do Rio Grande do Sul em segmentos que representassem direções definidas. A definição dos trechos obedeceu ao critério de direção predominante para cada trecho em relação ao norte.

Além da direção, parâmetro como tamanho do setor foi considerado, pois se buscava obter um tamanho dos trechos que fosse o mais próximo da área em que houve a calibração, isto é, o setor 01 (Cassino). Além disso, para o setor 06 adotou-se mais uma variável de divisão, esta relacionada com sedimentologia, já que neste trecho apresenta uma distinção perante aos demais setores do trabalho.

A área de estudo foi dividida em 7 setores, como mostrado na figura 18, e para cada setor foi construído um cenário de simulação com o SMC. A seguir são mostradas as direções de cada trecho em relação ao norte geográfico: setor 01 direção 229AZ; setor 02 direção 207AZ; setor 03 direção 193AZ; setor 04 direção 203AZ; setor 05 direção 220AZ; setor 06 direção 226AZ; setor 07 direção 227AZ.

## Setores de Rio Grande ao Chuí-RS



**Figura 18 - Divisão da área de estudo em setores**

## 6.2 CALIBRAÇÃO DO MODELO

Para realizar a calibração foi necessário conhecer os valores de transporte longitudinal medidos localmente e que estão apresentados juntamente com dados de ondas, vento e correntes também medidos concomitantemente. Na tabela 2 são apresentados valores de vento e corrente.

**Tabela 2 - Medidas do vento e da Corrente**

Coleta	Data	Condição de mar				Vento		Corrente	
		Horário (h)	Cenário	Direção (°)	T (s)	Direção (°)	Vm (m/s)	Direção (°)	Vm (m/s)
1 <sup>a</sup>	12/03/2011	15-19h	B	62	9,4	80	8,02	SW	0,40
3 <sup>a</sup>	07/05/2011	09-13h	E	194	15,8	30	3,67	NE	0,05
5 <sup>a</sup>	29/05/2011	09-13h	F	145	12,8	170	2,84	SW	0,26

Os valores da profundidade de fechamento ( $D_c$ ) foram calculados para ajudar a conhecer a região de transporte de sedimento. Estas profundidades podem ser observadas na tabela 3.

**Tabela 3 - Profundidade de Fechamento para cada cenário**

	Vaga de NE	Ondulação de S	Ondulação de SE	Ondulação de ENE	Vaga de S
Hs	2,2	4,5	5,2	1,8	2,3
Tp	9	15,8	12,8	8,3	5,4
Dc	4,6	9,8	10,7	3,9	4

Estes valores de profundidade de fechamento ficaram próximos aos resultados disponibilizados na literatura para a costa do estado do Rio Grande do Sul, como se pode citar o Almeida *et al.*(1999) que encontrou intervalos de profundidade de fechamento para os anos de 1963 e 1996, sendo-os 6,23 à 9,08m e 5,46 à 7,61m, respectivamente. Já Perotto (2010) encontrou profundidades de fechamento variando entre 4,74 a 6,87m.

Os cenários calibrados (Vaga ENE, Ondulação S, Ondulação SE) como os demais, não calibrados (Ondulação ENE, Vaga S) foram obtidos em águas profundas e, portanto tiveram que ser transformados até a profundidade de 15m (águas intermediárias) utilizando-se a Lei Snell conforme já foi dito anteriormente. Os dados utilizados no trabalho correspondem, em maioria, aos que foram obtidos durante o campo no ano de 2010 como Vaga de ENE (Tp 9s, Hs 2,2m, Dp 86°), Ondulação de S (Tp 15,8s, Hs 4,5m, Dp 160° ) e Ondulação de SE (Tp 12,8s, Hs 5,2m, Dp 141°). Entretanto também utilizou dados disponíveis de ROMEU *et al* (2010) para completar as condições ondulatórias, essas informações foram baseadas no trabalho deste autor e ficou referenciado da seguinte forma: Ondulação de ENE (Tp 8,3s, Hs 1,8m, Dp 89°) e Vaga de S (Tp 5,4s, Hs 2,3m, Dp 177°).

Estes valores utilizados têm um suporte estatístico, em relação aos cenários, de 30 anos de medições e durante os testes realizados durante a calibração não se constatou mudanças tão significativas. Acredita-se que os parâmetros usados condizem, pelo menos, com o transporte do ano de 2010 e por mais que se possa utilizar outros valores dos parâmetros (como altura de onda) esta situação pode encontrar um valor diferente, mas possivelmente não difere dos valores qualitativos ou até mesmo quantitativos deste trabalho.

Os dados transformados que foram utilizados na malha do programa podem ser visualizados nas tabelas 4 e 5 respectivamente.

**Tabela 4 - Transformação pela lei de Snell dos cenários calibrados**

Coleta	Data da coleta	Tipo de mar	Cenário	Dados WW3 (águas profundas)				Lei de Snell *	
				Hora (h)	Hs (m)	Tp (s)	Dp (°)	Hs (m)	Dp (°)
1 <sup>a</sup>	12/03/2011	Vaga ENE	B	15:00	3,6	9,0	62	2,2	86
3 <sup>a</sup>	07/05/2011	Ondulação S	E	12:00	5,8	15,8	194	4,5	160
5 <sup>a</sup>	29/05/2011	Ondulação SE	F	12:00	5,4	12,8	145	5,2	141

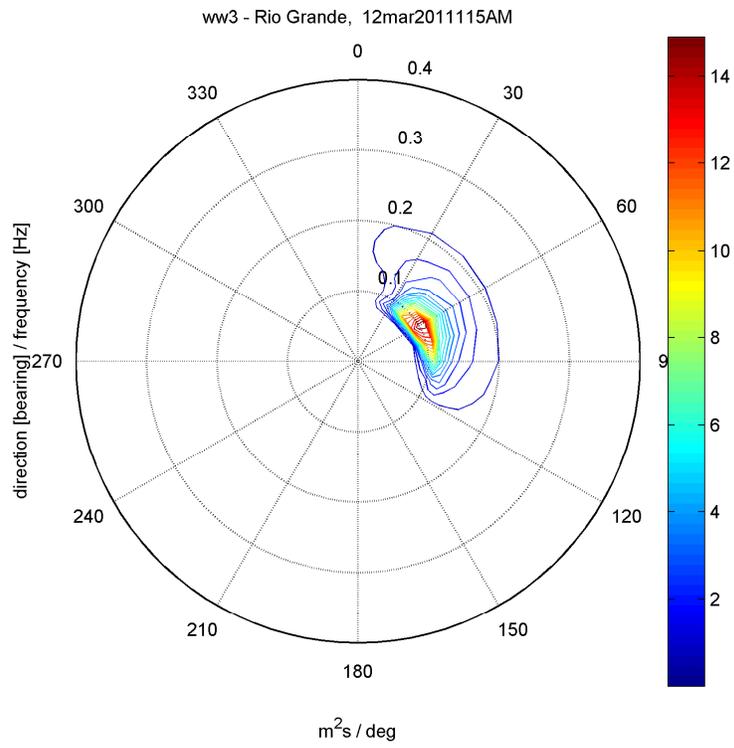
\* dados de onda transformados pela Lei de Snell para a profundidade de 15m (águas intermediárias)

**Tabela 5 - Transformação pela lei de Snell dos cenários não calibrados**

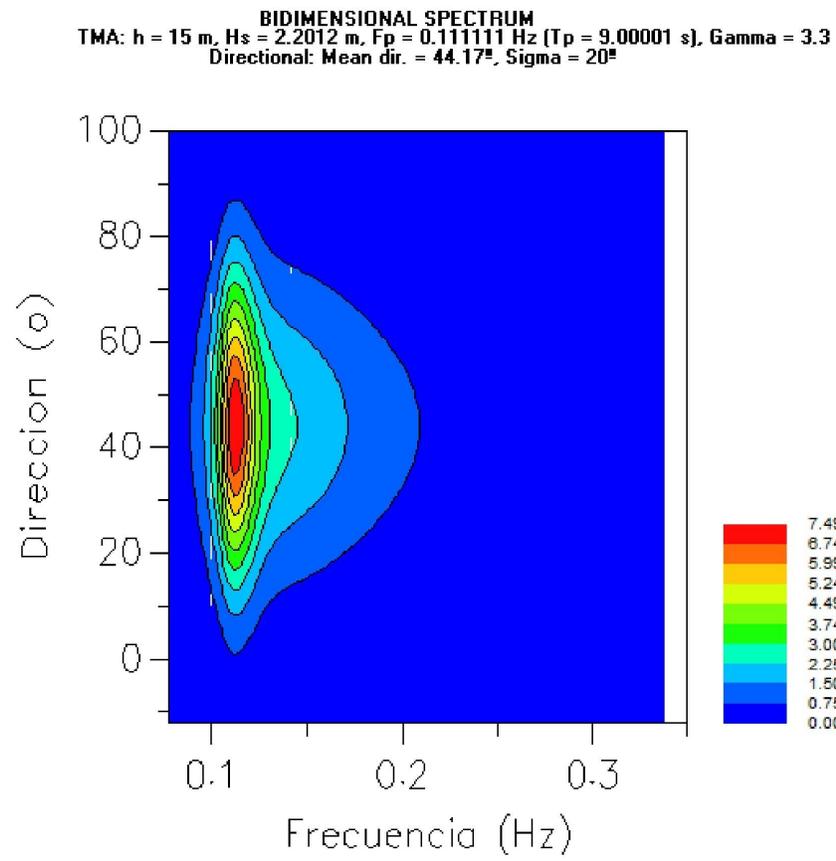
Tipo de mar	Dados dos <i>clusters</i>			Lei de Snell *	
	Hs (m)	T (s)	Direção (°)	Hs (m)	Direção (°)
Ondulação ENE	2,5	8,3	75,5	1,8	89
Vaga S	2,5	5,4	178	2,3	177

\* dados de onda transformados pela Lei de Snell para a profundidade de 15m (águas intermediárias)

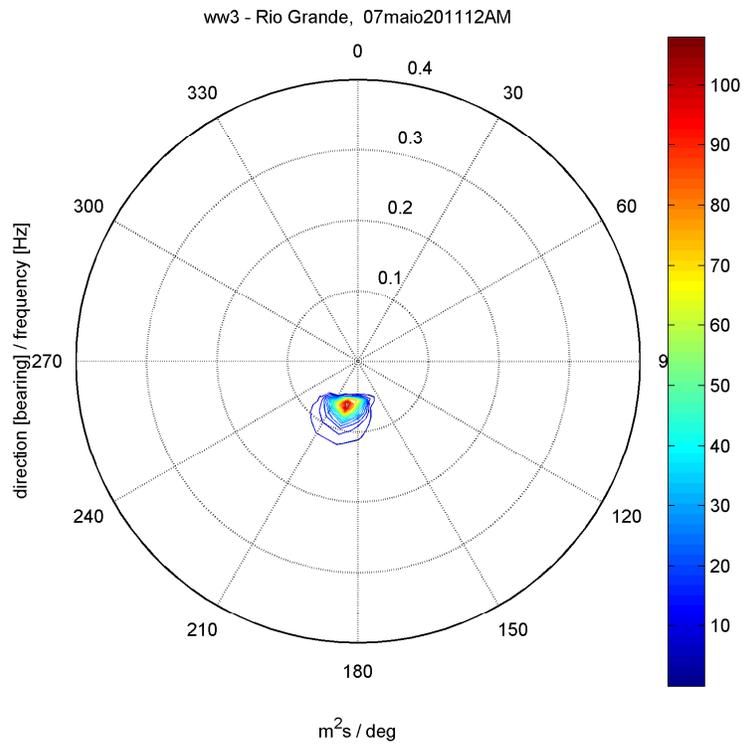
Na calibração compararam-se o espectro de frequência e direcionais dos dados obtidos da NOAA representados nas figuras 19, 21, 23 com os que foram criados pelo modelo SMC, em que o modelo utiliza para início do cálculo na malha, demonstrados pelas figuras 20, 22 e 24. Percebe que as ondulações (de sul e sudeste) tendem a ter a energia mais concentrada, enquanto a vaga mais dispersa.



**Figura 19 – Vaga ENE – Espectros direcionais previstos**

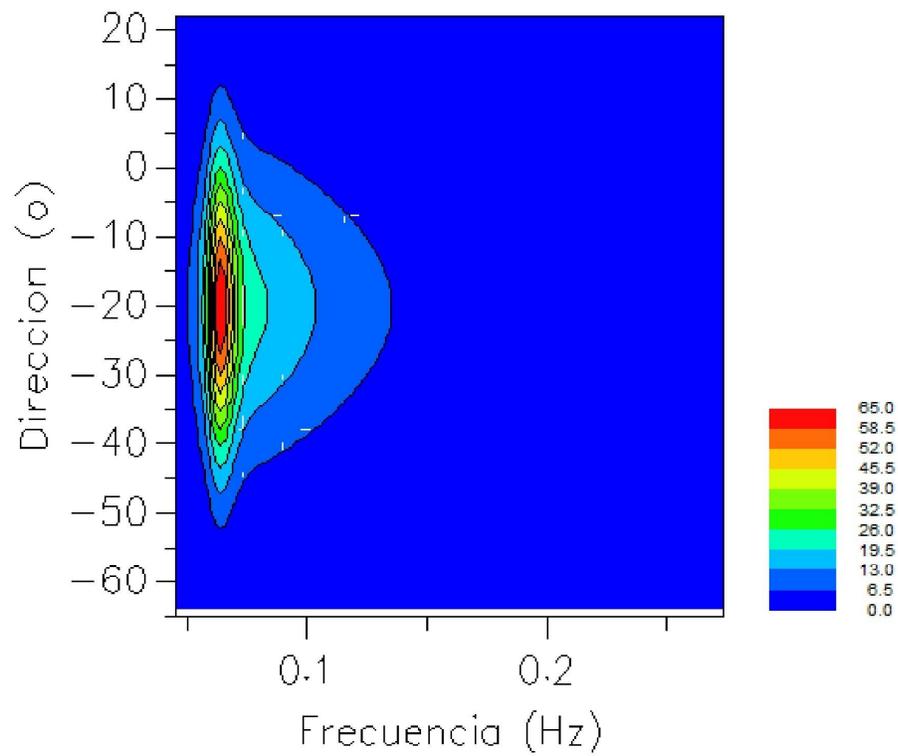


**Figura 20 –Vaga ENE – Espectros utilizados no início do cálculo na profundidade de 15m**

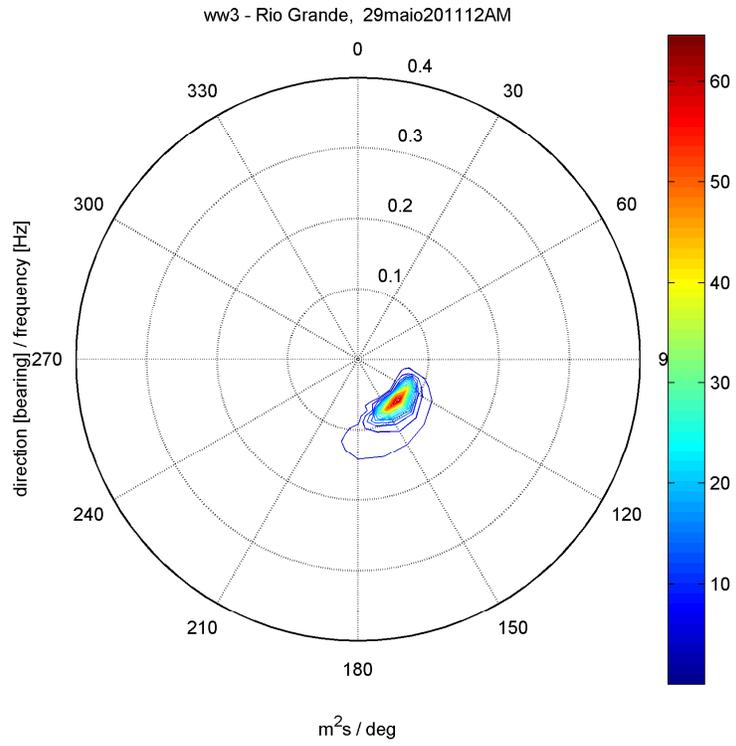


**Figura 21 – Ondulação de S – Espectros direcionais previstos**

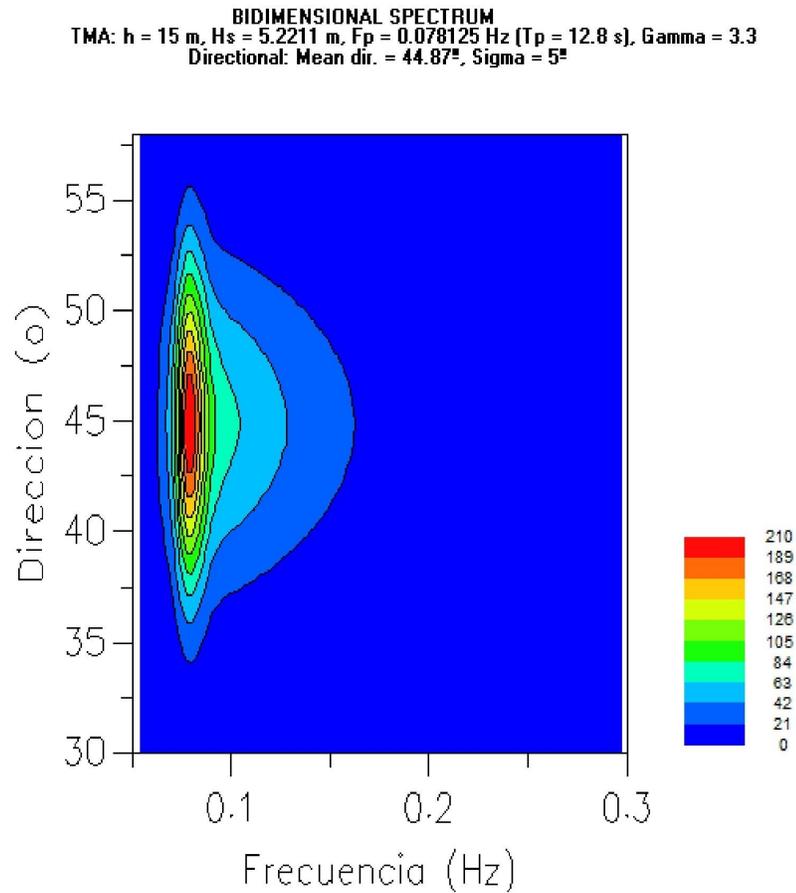
**BIDIMENSIONAL SPECTRUM**  
TMA:  $h = 15$  m,  $H_s = 4.5961$  m,  $F_p = 0.063291$  Hz ( $T_p = 15.8$  s),  $\Gamma = 3.3$   
Directional: Mean dir. =  $-20.13^\circ$ ,  $\Sigma = 15^\circ$



**Figura 22 –Ondulação de S – Espectros utilizados no início do cálculo na profundidade de 15m**

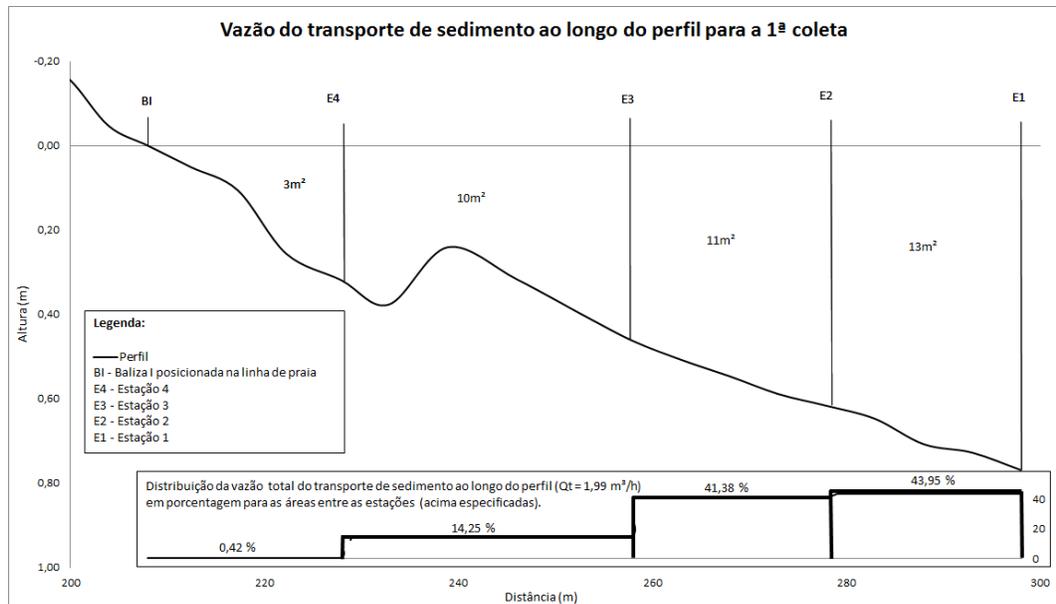


**Figura 23 – Ondulação de SE – Espectros direcionais previstos**

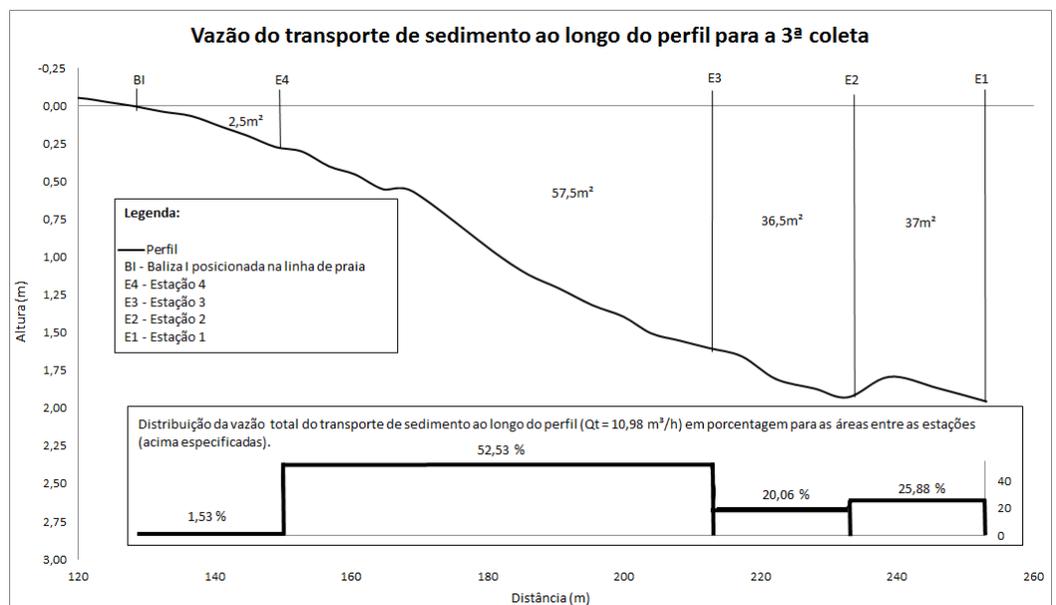


**Figura 24 – Ondulação de SE – Espectros utilizados no início do cálculo na profundidade de 15m**

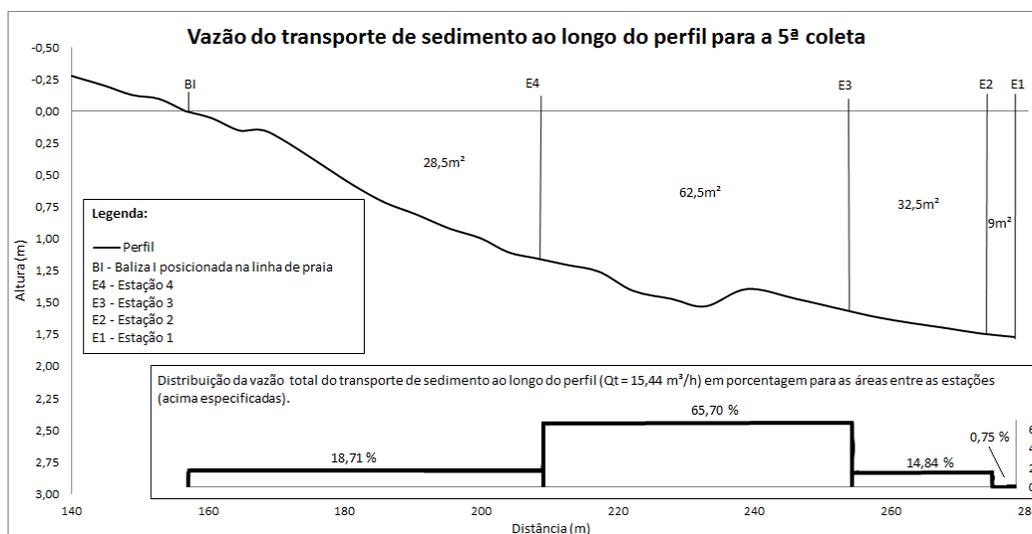
Os resultados oriundos das coletas de sedimentos bem como o perfil de praia são mostrados nas figuras 25, 26 e 27, a seguir. Maiores detalhes sobre os valores brutos das amostras de sedimentos coletados podem ser visto na tabela contida em ANEXO I.



**Figura 25 - Transporte total e entre estações na zona úmida durante a 1ª coleta**



**Figura 26 - Transporte total e entre estações na zona úmida durante a 3ª coleta**



**Figura 27 - Transporte total e entre estações na zona úmida durante a 5ª coleta**

Os valores do transporte longitudinal são também apresentados abaixo nas tabelas 6 e 7.

**Tabela 6 - Transporte Longitudinal (total e por estação) medido durante as 3 coletas**

Coleta	Q entre as estações ( $\text{m}^3/\text{h}$ )				$Q_t$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
	Q (BI-E4)	Q (E4-E3)	Q (E3-E2)	Q (E2-E1)	
1ª	0,01	0,28	0,82	0,87	1,9
3ª	0,17	5,77	2,20	2,84	10,9
5ª	2,89	10,15	2,29	0,12	15,4

**Tabela 7 - Percentual do Transporte Longitudinal por coleta e por estação**

Q (%)				$Q_t$ (%)
Q (E4)	Q (E3)	Q (E2)	Q (E1)	
0,42	14,25	41,38	43,95	100,00
1,53	52,53	20,06	25,88	100,00
18,71	65,70	14,84	0,75	100,00

Os resultados de transporte longitudinal encontrados, conforme pode ser visto na tabela 6, variaram entre 1,99 e 15,44  $\text{m}^3$  de areia/hora. FONTOURA (2004) usou a mesma metodologia no que diz respeito à coleta de sedimentos e encontrou um valor de 1,92  $\text{m}^3$  de areia/hora, para um perfil em posição muito próxima do atual, interessante observar também, que o transporte encontrado por este autor ocorreu durante uma

condição de mar muito semelhante à observada agora, ou seja:  $H_s=3,6$  m,  $T=9$ s e Direção de propagação=62 graus, todos estes valores foram obtidos em águas profundas, como no caso atual. As outras duas condições de mar apresentadas neste trabalho (coletas 3 e 5) não foram testadas no trabalho de FONTOURA (2004).

Neste trabalho de mestrado se teve o embasamento dos dados de saída do WW3 da NOAA e o trabalho de campo foi elaborado em momentos precisos, isto é, nos cenários padronizados por ROMEU *et al* (2010) de tal modo que o espectro de frequências teve menor influência de ondulações ou vagas diversas. Diante disso pode-se aceitar que os resultados observados nos casos de Ondulações de S e SE, como era de se esperar apresentassem valores maiores se comparados com NE, conforme demonstrado na tabela 6.

É interessante ressaltar que de acordo com (LIMA *et al*, 2001) os cenários de ondas provenientes de sul/sudeste, que eventualmente podem estar associados também a fenômenos de tempestades, principalmente no inverno, apresentam condições energéticas superiores aos casos de leste/nordeste, por isso a quantidade de sedimentos transportados a partir do quadrante sul e sudeste tende a ser maior.

Os resultados que foram obtidos através da modelagem são apresentados de acordo com os seus setores (7 ao todo) e seus respectivos casos (5 no total). São mostrados a seguir mapas referentes à onda, corrente e transporte para cada trecho escolhido, de modo que se possa determinar o transporte longitudinal e fazer uma análise do balanço sedimentar dentro de cada setor. Para a simulação, o SMC foi calibrado com os parâmetros apresentados na tabela 8 abaixo:

**Tabela 8 - Parâmetros utilizados na calibração do SMC**

Data da coleta		12/03/2011	07/05/2011	29/05/2011	Indicação	
Tipo de mar		Vaga ENE	Ondulação S	Ondulação SE	#	
Malha	Espaçamento (m)	$\Delta X$	35		Ajustado	
		$\Delta Y$	35		Ajustado	
Espectro	Profundidade (m)		15		Ajustado	
	Período (s)		9	15,8	12,8	Ajustado
	Hs (m)		2,2	4,5	5,2	Ajustado
	Frequência de pico (Hz)		0,11	0,06	0,07	Ajustado
	Direção (°)		S89,3E	S25,0E	S25,0E	Ajustado
	Parâmetro de dispersão (°)		20	15	5	Ajustado
	Nº de componentes		15		Default	
Corrente	Tempo (s)	Intervalo	5	2	2	Ajustado
		Total	50	830	60000	Ajustado
	Coeficiente de Nikuradse		1,8		Ajustado	
	Coeficiente de Viscosidade Turbulenta (m <sup>2</sup> /s)		10		Default	
Transporte de sedimento	Características do sedimento	D50 (mm)	0,125		Ajustado	
		D90 (mm)	0,25		Ajustado	
		$\phi$ (°)	35		Ajustado	
		$\rho_s$ (ton/m <sup>3</sup> )	2,65		Default	
		Porosidade	0,35		Default	
		$\sigma_d$	1,2		Default	
	Características da água	$\rho_w$ (ton/m <sup>3</sup> )	1,025		Default	
		$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	0,000001		Default	
	Duração do evento (h)		12		Default	
	Máxima variação do fundo (m)		0,1		Default	
Comparação dos transportes de sedimento (m <sup>3</sup> /h/m)	<i>In situ</i>	0,28	5,77	10,15	#	
	Mopla	0,13	8,50	5,86	#	

A calibração do SMC foi feita através da comparação entre os resultados medidos no campo e os resultados obtidos pelo modelo utilizando-se como entrada deste os mesmos parâmetros ambientais existentes durante o período de medições, conforme apresentado na tabela 8.

Os valores modelados apresentaram resultados com a mesma ordem de grandeza ou no máximo 2 vezes maior do que os valores medidos, no caso da Vaga de NE o valor modelado foi 0,1305 m<sup>3</sup>/h enquanto que o valor medido foi 0,28 m<sup>3</sup>/h, no caso de Ondulação de SE o valor modelado foi 5,8664 m<sup>3</sup>/h enquanto o valor medido foi 10,15

$\text{m}^3/\text{h}$  e no caso da Ondulação de S o valor modelado foi  $8,5032 \text{ m}^3/\text{h}$  enquanto que o valor medido foi  $5,77 \text{ m}^3/\text{h}$ .

De um modo geral o modelo apresentou resultados satisfatórios para o transporte de areia, embora seja importante resaltar que no ambiente natural a complexidade do transporte sedimentar é maior. Isto se deve, pois na natureza o transporte envolve classe granulométricas inferiores como silte e argila (lama) que não foram consideradas neste trabalho, já que o *software* utiliza a classe da areia.

Como era de se esperar o transporte devido a Ondulação ENE e a Vaga NE apresentou sentido oposto em relação aos demais cenários (Ondulação S, Ondulação SE e Vaga de S).

### 6.3 MODELAGEM PARA CADA SETOR IDENTIFICADO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a utilização do SMC para cada um dos sete setores da costa entre Rio Grande e Chuí. Foram utilizados dados de onda representativos dos cenários característicos de agitação marítima da região identificados por (ROMEU *et al*, 2010) conforme tabela 1.

É interessante destacar algumas particularidades referentes aos resultados provenientes da modelagem, pois o modelo para correntes longitudinais são geradas pela quebra das ondas, no qual é manifestada dentro da zona de surf devido, principalmente a incidência oblíqua das ondas e ao gradiente das alturas de ondas.

O módulo de correntes do SMC incorpora formulações analíticas clássicas para correntes longitudinais pela quebra de ondas como a de Longuet-Higgins que incorpora a fricção de fundo e as tensões turbulentas devido à viscosidade. Daí, o resultado que será mostrado encontra vetores que se estende além do domínio da zona de quebra das ondas (devido ao efeito da difusão turbulenta), de acordo com o que consta no manual do modelo (GIOCCO 2003). Todavia em alguns resultados mostraram o campo de correntes numa seção muito além da zona de surf, isto é, em batimétricas relativamente profundas (e.g. 13m) que por se tratar de correntes longitudinais, estas não poderiam ocorrer, embora em algumas situações possam existir à presença bancos de areia e justificar os vetores corrente. Há ainda outra situação do programa no que se refere à incidência de vetores normais à praia que ultrapassam a linha de costa (fronteira impermeável) e não poderia existir propagação numa região fora da água, demonstrando um resultado carente de lógica.

Estas constatações deduzem que o módulo de correntes pode representar um possível erro (talvez somente de resolução gráfica), pois tais vetores não deveriam ser apresentados nos resultados e, portanto sugere-se que em trabalhos futuros esta questão possa ser analisada mais detalhada ou mesmo que haja supervisão dos elaboradores do *software*.

Considerando este contexto, alguns vetores que são mostrados de forma transversais ou não longitudinais na zona de surf ou mesmo sobre batimétricas muito além desta zona não representam justificativa clara do modelo e conseqüentemente esta

questão do trabalho não se encontrou respostas plausíveis para justificar este comportamento da corrente.

### 6.3.1 SETOR 01

O setor 01 (figura 028), na área que foi modelada apresenta comprimento de 12 km e sua direção é N48,73E. O setor 01 apresentou na malha computacional as seguintes características:

- Dimensão X (perpendicular à linha de costa) 9730 m ou 278 linhas;
- Dimensão Y (paralela à linha de costa) 12250 m ou 351 colunas

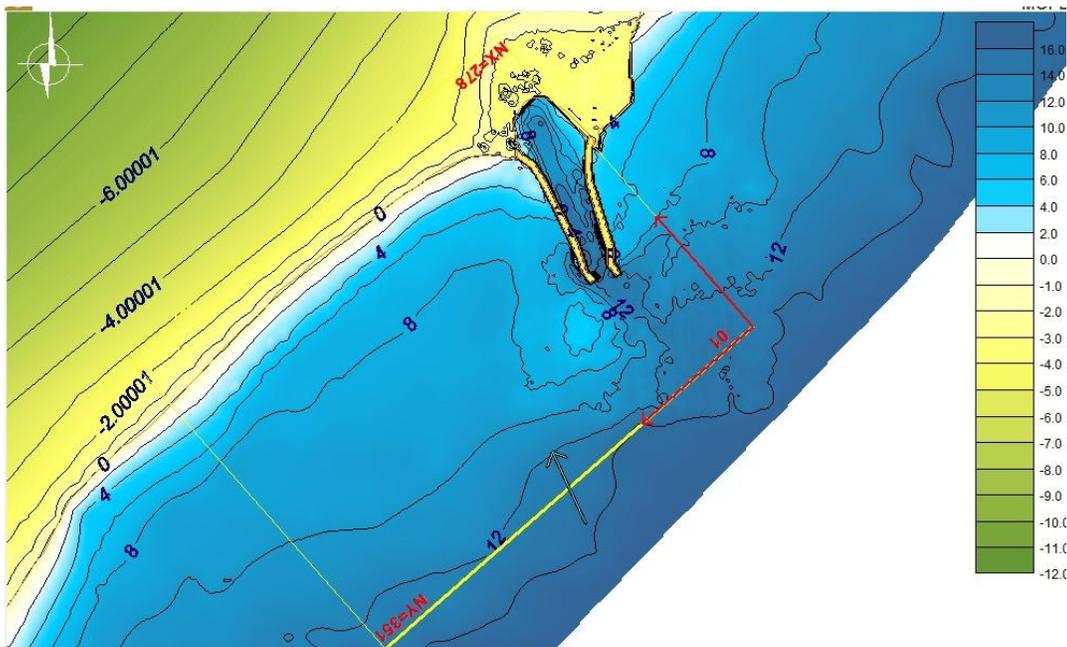
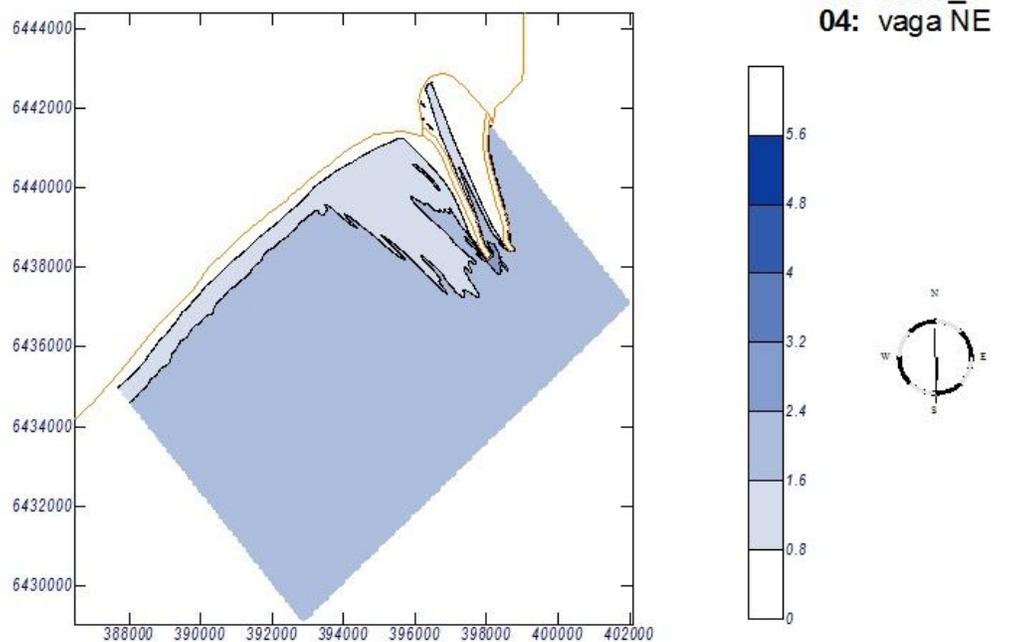


Figura 28 - Setor 01

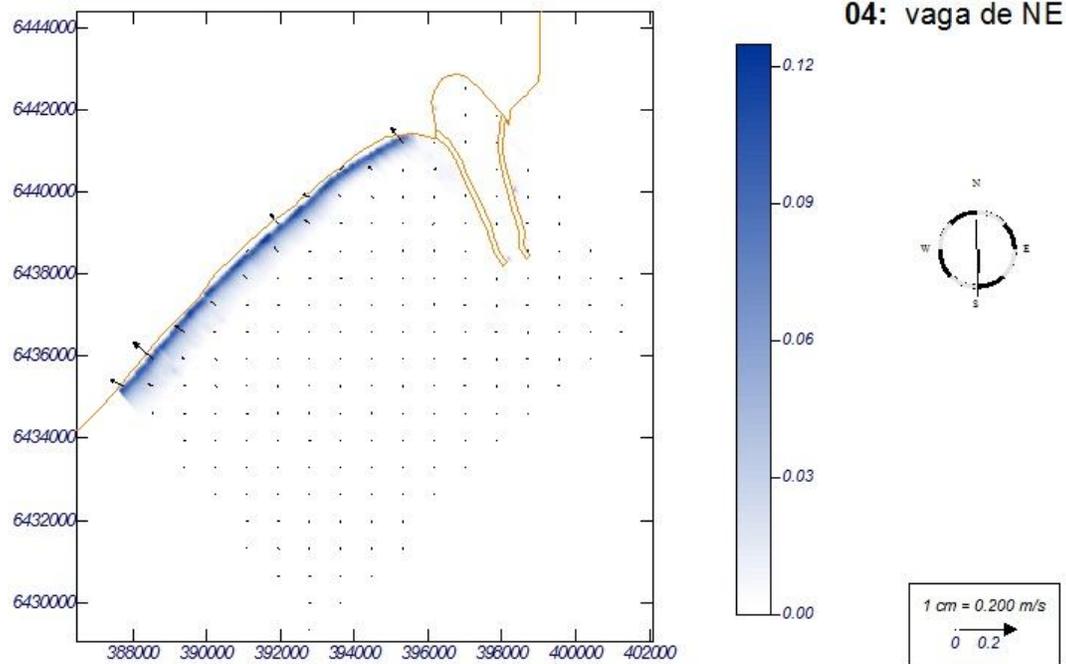
### VAGAS DE NORDESTE

Graph: Significant wave height

**Figura 29 - Altura significativa das ondas no setor 01/vagas NE**

Como pode ser visto na figura 29, a propagação ocorreu aproximadamente normal à costa, o trem de ondas de nordeste não sofreu refração acentuada, as ondas nesse caso, a partir da batimétrica de 15m, já se encontram refratadas e portanto apenas tende a acompanhar a subida da inclinação do assoalho marinho.

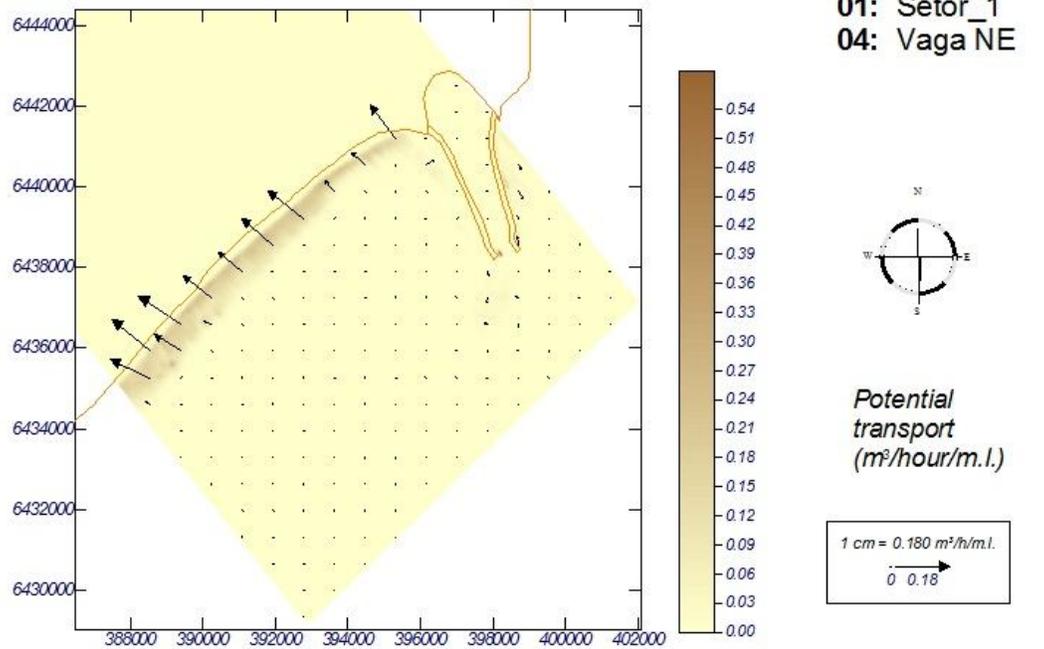
Graph: Current vectors



**Figura 30 - Correntes longitudinais no setor 01/vagas NE**

Conforme a figura 30, o caso de nordeste apresenta uma energia mais dispersa no seu espectro de frequência, devido à incidência de ondas oblíqua em relação à costa ser pequena, também a geração de corrente longitudinal não foi muito significativa, tendo um potencial de corrente na ordem de: 0.065 m/s para SW.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

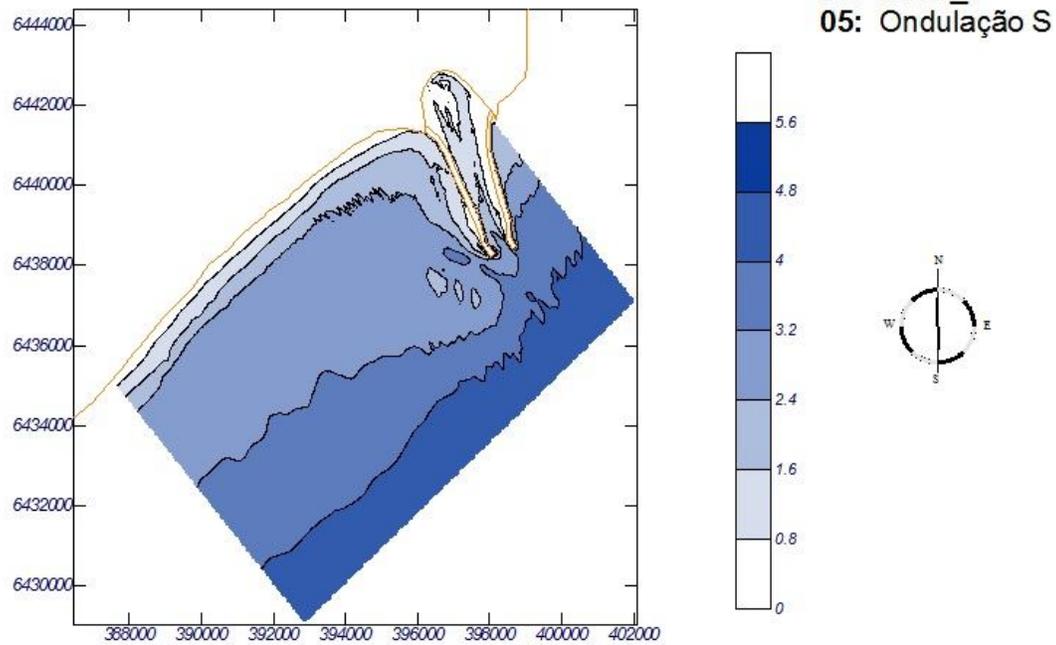


**Figura 31 - Potencial do transporte sedimentar no setor 01/vagas NE**

O transporte longitudinal (Fig.31) para as condições especificadas foi da ordem de  $0,32 m^3/h$ . Diante disso, pode-se inferir que esta condição de mar agindo no setor 1 não contribui de modo efetivo para mudanças morfológicas da costa.

## ONDULAÇÕES DE SUL

Graph: Significant wave height

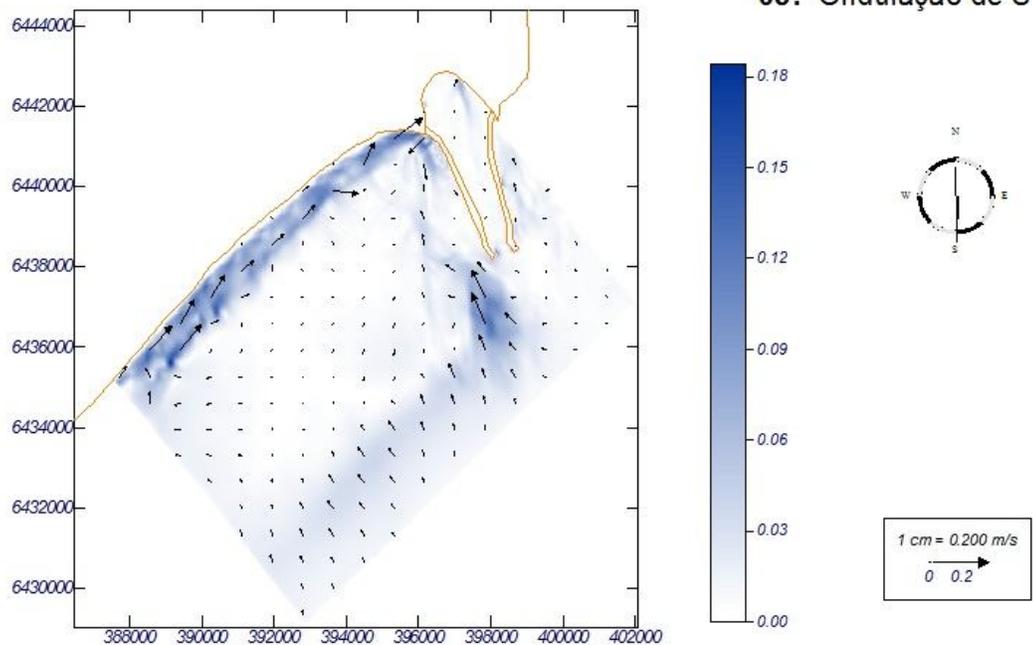


**Figura 32 - Altura significativa das ondas no setor 01/ondas S**

As ondulações de Sul, como pode ser visto na figura 32, apresentam mais energia e não estão tão dispersas no espectro de frequência como no caso anterior. Além disso, a incidência do trem de ondas nesta situação mostra uma obliquidade acentuada o que favorece o aparecimento do fenômeno da refração de ondas, principalmente, próximo ao banco das 3 Marias.

Esta característica mostra que há uma convergência das direções das ondas para as proximidades do Molhe Oeste, ou mesmo que esta construção interfere no fluxo das ondas, embora haja uma pequena difração.

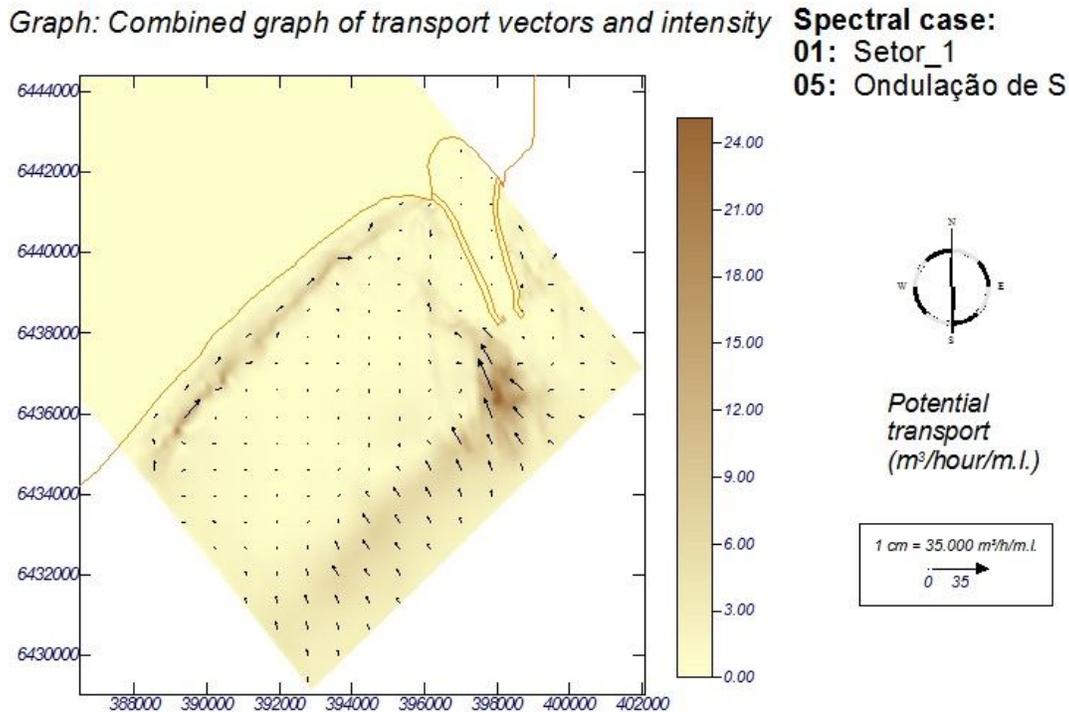
Graph: Current vectors



**Figura 33 - Correntes longitudinais no setor 01/ondas S**

De acordo com a figura 33 os raios de onda convergiram para formação de correntes bem definidas deslocando-se em direção ao molhe oeste, esta corrente é veloz, com valores da ordem de 0,11 m/s. Isto é, as correntes geradas pela quebra das ondulações de sul apresentaram praticamente o dobro da velocidade se comparadas com aquelas geradas pelas vagas de NE. Observa-se também que esta direção de propagação gera um campo de sombra no costado externo do Molhe Leste.

As correntes paralelas à costa além da zona de arrebentação podem representar uma limitação do modelo, pois essas correntes não se deveriam se manifestar em profundidades maiores como é o caso deste caso onde essa batimétrica tem valor de, aproximadamente, 13m, de acordo com a visualização da figura 33. Caso haja alguma força motriz ou algum fenômeno ocorrendo no lugar que justifique tais correntes, é necessário um aprofundamento nesta questão a fim de se obter a luz do conhecimento.



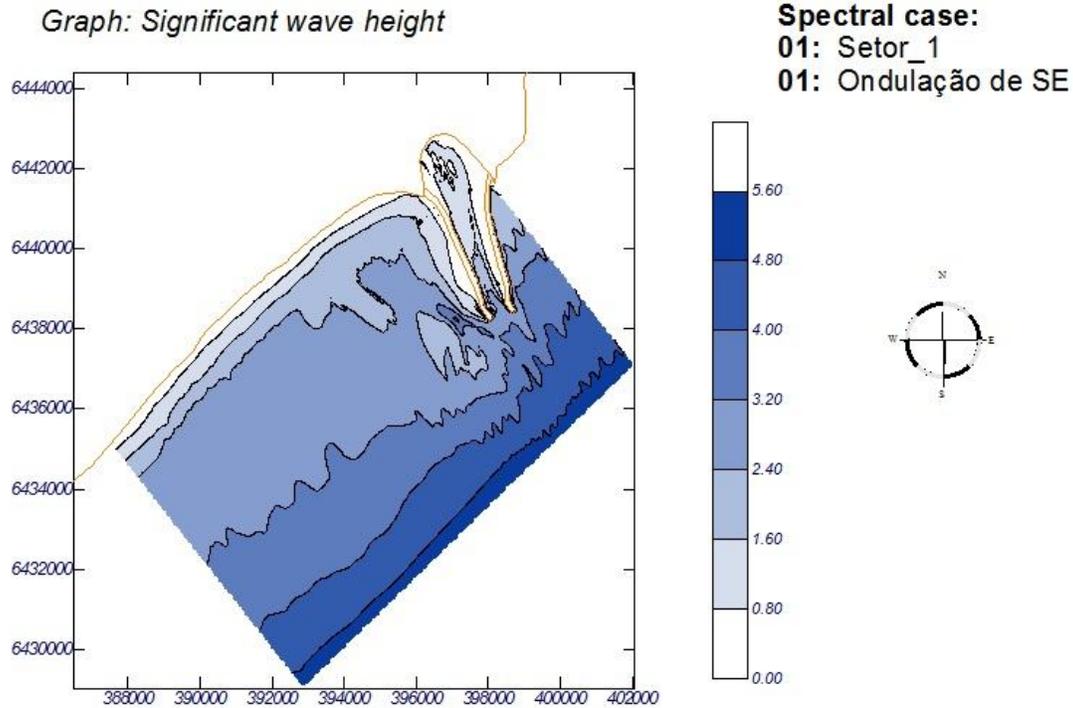
**Figura 34 - Potencial do transporte sedimentar no setor 01/ondas S**

Como pode ser visto na figura 34, com o potencial médio de 13 m<sup>3</sup>/h, a ondulação de S tem significativa influência sobre a costa, principalmente próximos aos molhes, pois pelo desempenho da corrente e o respectivo transporte sedimentar, parece contribuir para a permanência do banco das 3 Marias.

Esta ondulação pode ser efetiva para as transformações da costa, podendo ser muito influente para processos erosivos, devido a grande energia associada, comparativamente ao caso de vaga de NE, a Ondulação de S apresenta ordem de grandeza do transporte superior a 4 dezenas o que demonstra a magnitude do processo.

É interessante ressaltar que pela saída dos resultados da corrente que são expostas na figura 33, seria esperado encontrar o transporte mais acentuado próximo à zona de surf, porém neste caso aconteceu transporte intenso próximo à desembocadura da Lagoa dos Patos. Há possibilidades de ocorrer fluxos próximo ao banco das 3 Marias, no entanto não de forma tão acentuado como ocorreu na visualização deste resultados, isto é, não encontrou-se uma resposta plausível para isso, pois muito provavelmente não há uma força motriz que justifique esta situação.

## **ONDULAÇÕES DE SUDESTE**



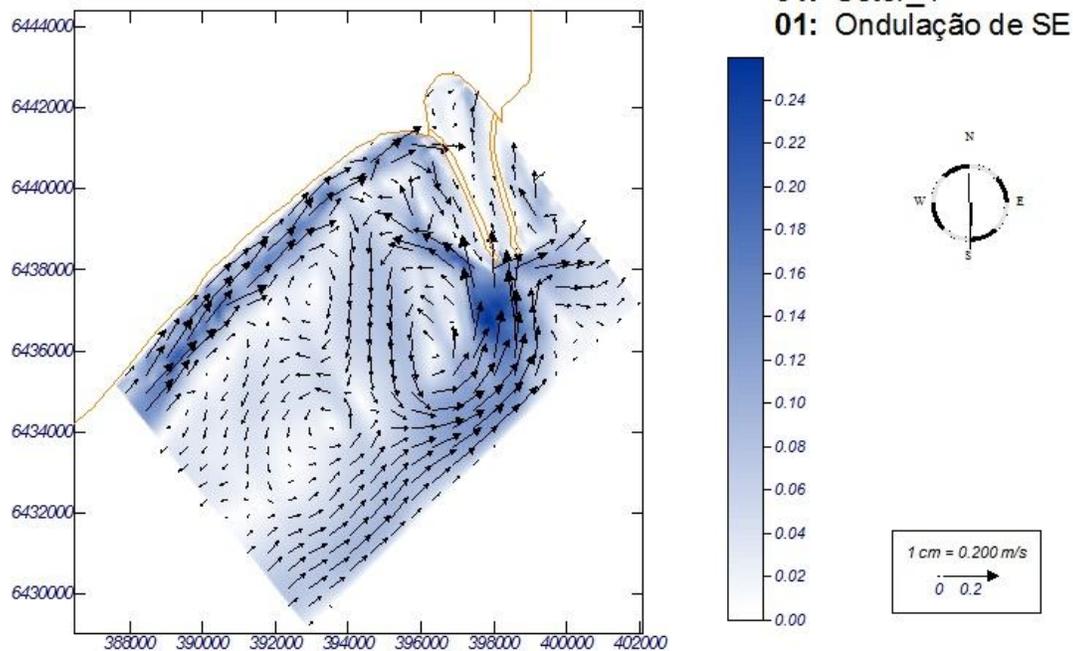
**Figura 35 - Altura significativa das ondas no setor 01/ondulação SE**

Conforme pode ser visto na figura 35 estas ondulações são muito semelhantes ao caso anterior (ondulações de sul), caracterizando-se pela grande quantidade de energia associada.

O comportamento das ondulações praticamente foi o mesmo, pois apesar do clima ondulatório apresentar maior altura, o período das ondas foi menor e portanto não ocorreu uma grande diferença em relação a presença de ondulações de sul.

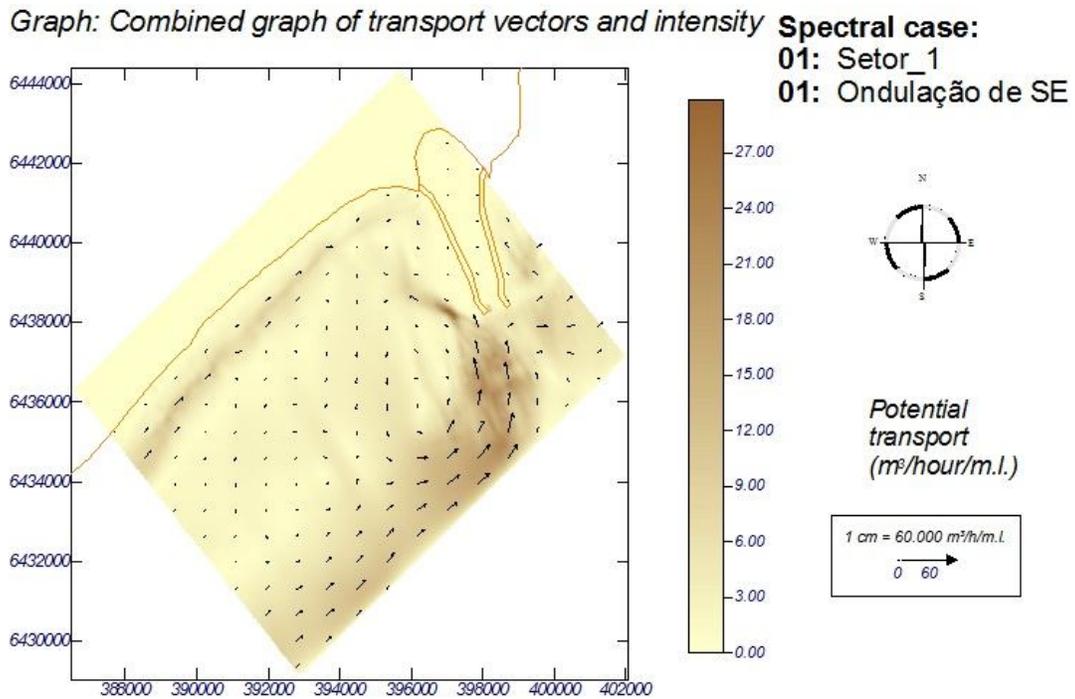
Uma certa característica de refração de ondas foi detectada também, principalmente próxima ao molhe oeste onde ocorreu convergência dos raios de onda.

Graph: Current vectors



**Figura 36 - Correntes longitudinais no setor 01/ondulação SE**

Conforme a figura 36 a corrente teve seu sentido voltado para NE, indo de contra aos molhes nas proximidades da desembocadura da Lagoa dos Patos, sua intensidade ficou em torno de 0,13 m/s. O molhe Leste nesta situação fica claramente caracterizado como uma região de sombra, a construção funciona como uma barreira que interrompe o fluxo líquido natural que ocorria antes da obra. Esta condição precisa ainda ser melhor investigada, mas pode-se inferir que com a ausência de chegada de sedimentos para aquele lugar a possibilidade de ocorrer uma erosão não está descartada, embora se saiba que o transporte nesta região é bidirecional e tudo indica que haja uma passagem de sedimentos entre o molhe oeste e o molhe leste, vencendo a barreira hidráulica imposta pela descarga da Lagoa dos Patos.

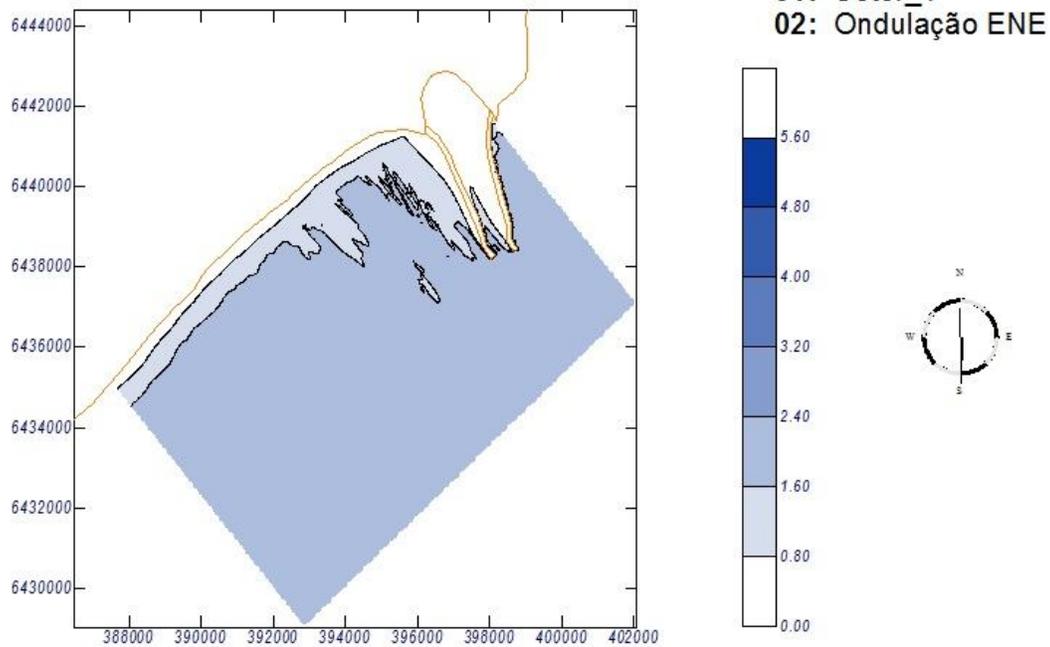


**Figura 37 - Potencial do transporte sedimentar no setor 01/ondulação SE**

Conforme a figura 37, os vetores de transporte de sedimento tendem a se concentrar mais a oeste da estrutura dos molhes, tendo um valor de potencial na ordem de 15 m<sup>3</sup>/h de areia (caso de maior potencial do Setor 01). Esta capacidade de transporte é mais significativa para as mudanças na morfologia do que o caso estudado com as vagas de NE.

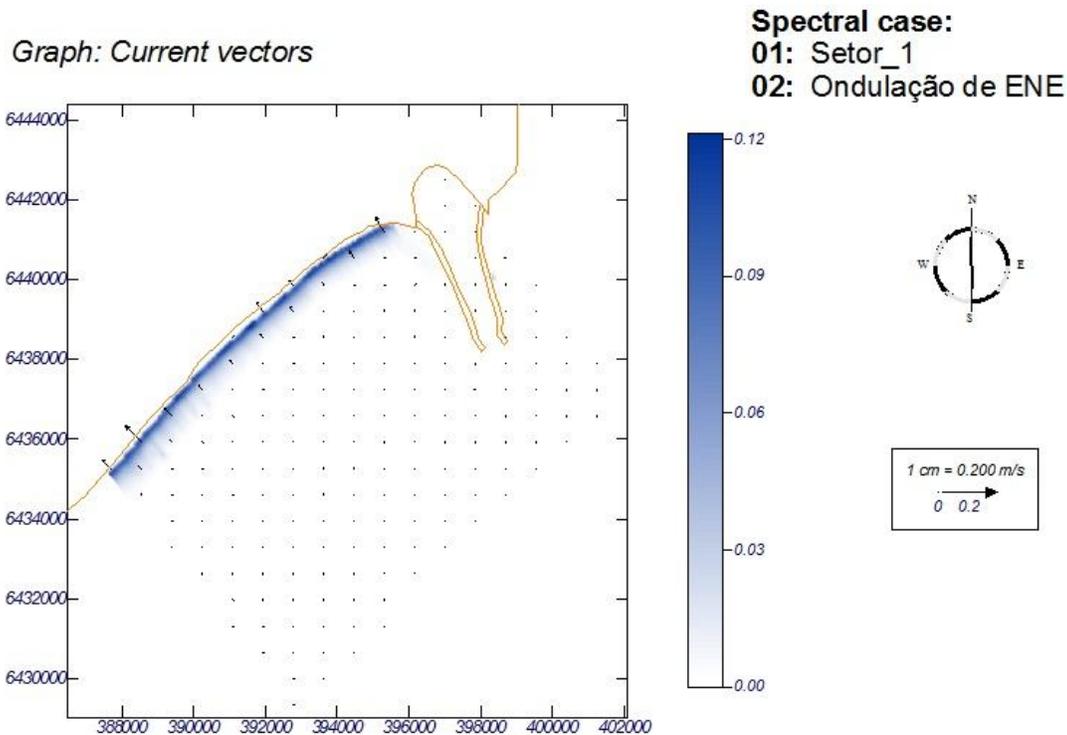
## **ONDULAÇÕES DE LESTE-NORDESTE**

Graph: Significant wave height

**Figura 38 - Altura significativa das ondas no setor 01/ondulação ENE**

Este caso corresponde a um dos dois que não foram verificados em campo devido não ter ocorrido em tempo hábil durante o mestrado, mas foram simulados como os demais. Esse cenário é semelhante ao apresentado pelas vagas de NE, pois a energia não é tão elevada como nos casos das ondulações de sul e sudeste.

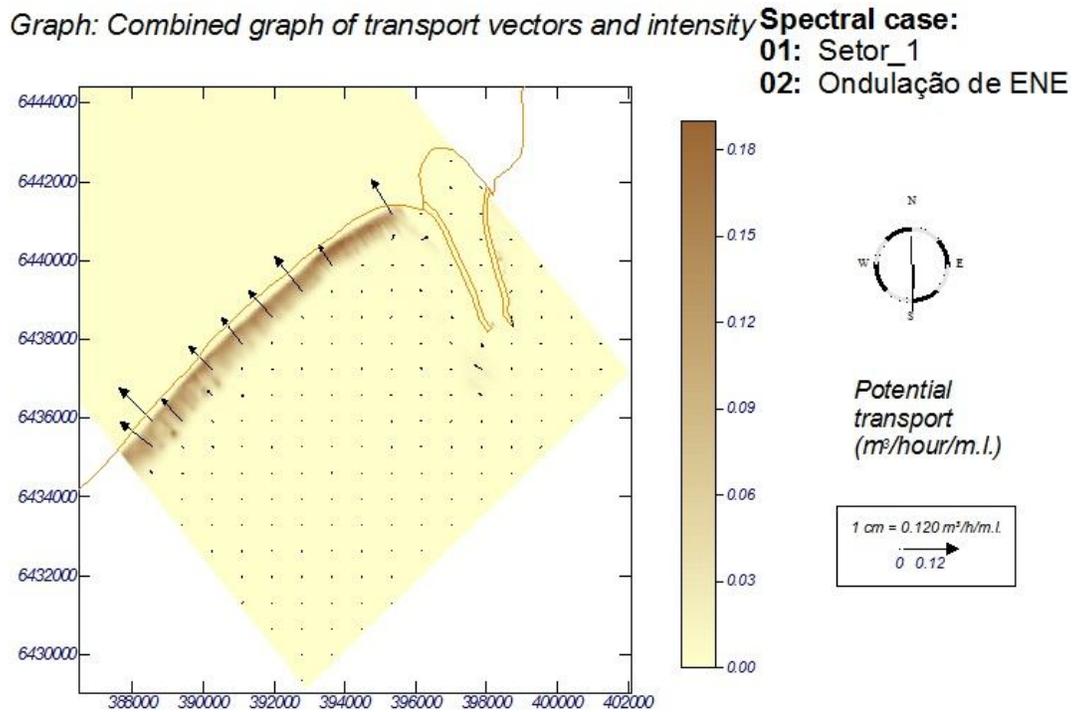
Conforme pode ser observado na figura 38, com períodos relativamente baixos e ângulo de incidência quase normal à linha de costa a onda não sofreu tão intensamente os efeitos do processo de refração e começou a “sentir” o fundo nas batimétricas rasas próximas a linha de costa.



**Figura 39 - Correntes longitudinais no setor 01/ondulação ENE**

Como pode ser visto na figura 39 a quebra das ondas deu origem a correntes longitudinais de baixa intensidade se comparadas a outros cenários já apresentados. Os valores das velocidades das correntes encontrados para esta situação foram da ordem de 0,06 m/s, com direção para sudoeste.

Como já mencionados anteriormente, há presença de vetores normais ou perpendiculares à linha de costa (fronteira impermeável) o que não se justifica já que esta representa uma passagem entre a presença ou não de água e, portanto não deveria existir vetor além da água. Talvez isso possa ser uma limitação gráfica do software que impede melhor visualização dos resultados. Esta característica ou comportamento também é encontrado nos demais setores desse caso, sendo possivelmente entendido pelo mesmo motivo.

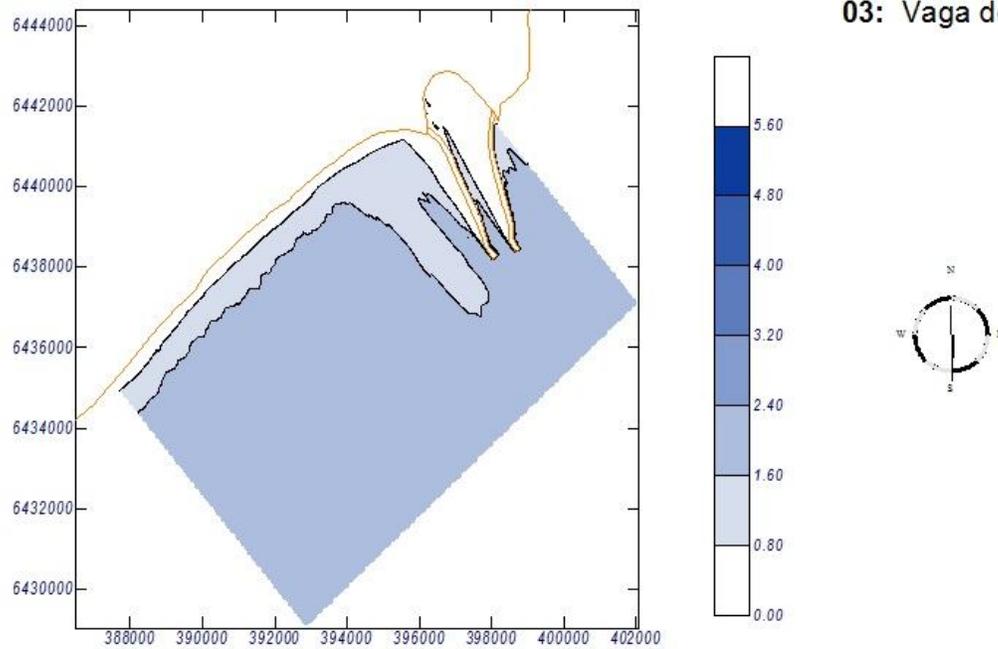


**Figura 40-Potencial do transporte sedimentar no setor 01/ondulação ENE**

O transporte neste caso foi pequeno se comparado aos cenários anteriores, o valor de potencial de transporte modelado foi da ordem de  $0,1 m^3/h$ , cerca de 30% abaixo do valor encontrado para a condição obtida com vagas de nordeste no mesmo setor (Fig.40).

## VAGAS DE SUL

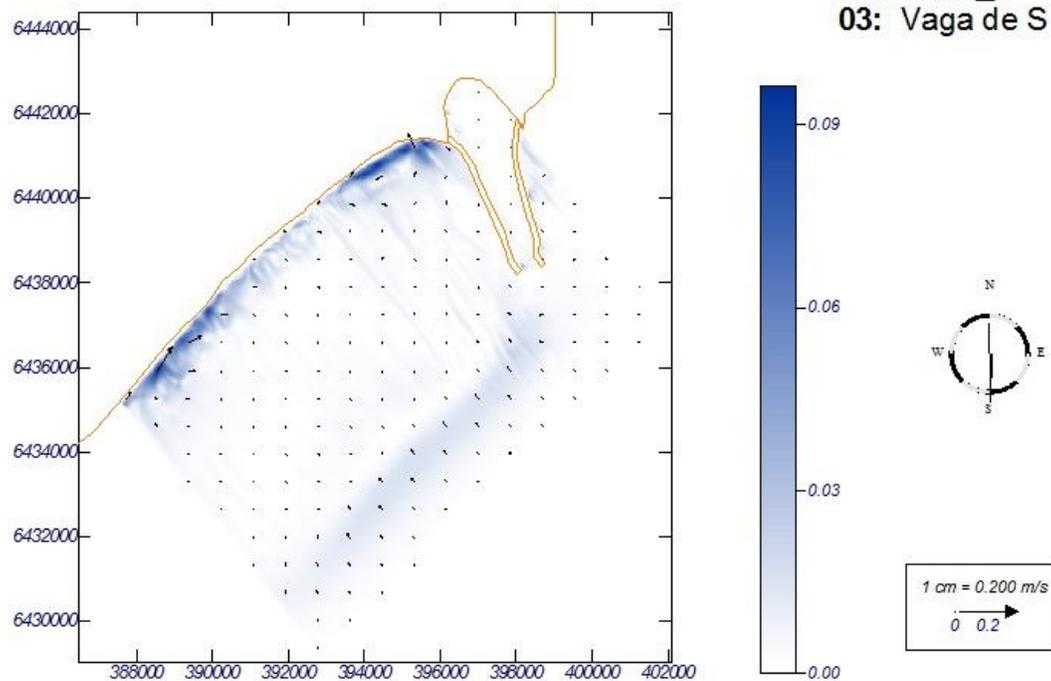
Graph: Significant wave height



**Figura 41 - Altura significativa das ondas no setor 01/vagas S**

Conforme pode ser visto na figura 41 este cenário de vagas de sul também apresenta vagas de curto período, porém as alturas ultrapassam aquelas observadas no caso das ondulações ENE e a direção de incidência das ondas na linha de quebra favorece a geração de correntes longitudinais.

Graph: Current vectors



**Figura 42 - Correntes longitudinais no setor 01/vagas S**

Conforme mostrado na figura 42, neste cenário as correntes longitudinais fluem de SW para NE deslocando-se em direção ao costado sul do molhe oeste, da mesma forma já observada quando de outros casos semelhantes em que em que o mar está do quadrante sul. Apesar da fraca intensidade da corrente, em torno de 0,05 m/s, observa-se a ocorrência de deriva litorânea associada a ela. Estes baixos valores de transporte sedimentar neste trecho da costa vem ao encontro de observações já feitas por outros autores que o associaram ao baixo assoreamento do costado sul do molhe oeste mesmo tendo decorrido quase um século da realização da mesma (FONTOURA, 2004).

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

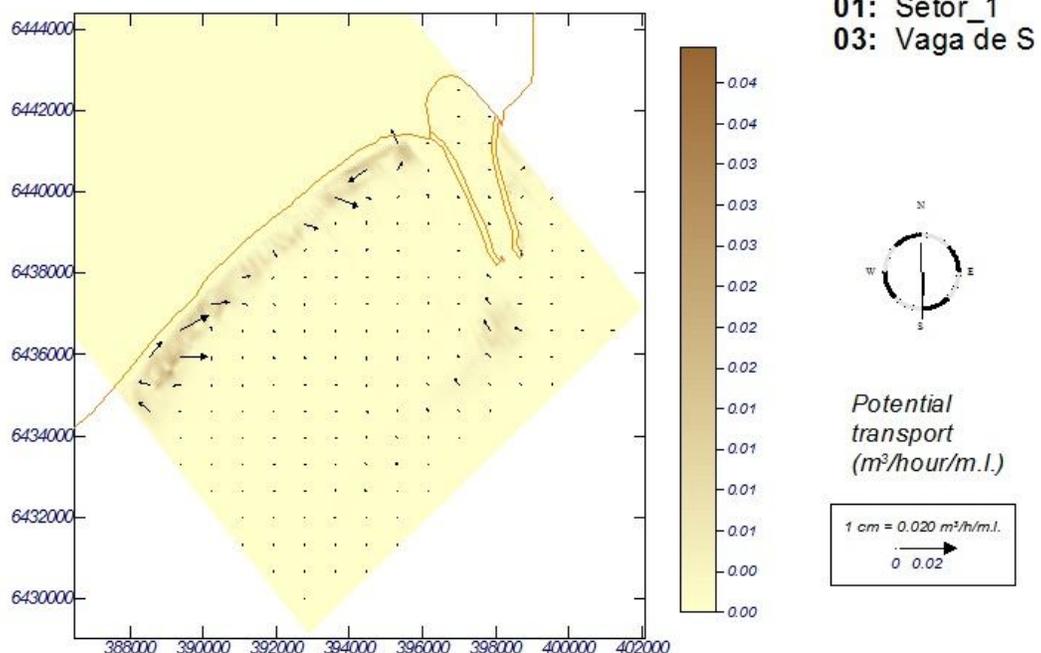


Figura 43 - Potencial do transporte sedimentar no setor 01/vagas S

Conforme pode ser visto na figura 43, o transporte médio neste cenário foi da ordem de 0,02 m<sup>3</sup>/h (menor potencial de transporte encontrado para o Setor 01), isto já era esperado, pois estamos diante de uma condição de vagas de pequeno período, com baixa capacidade de energia para mobilização e transporte de sedimentos na região.

A tabela 9 abaixo apresenta, de forma sintética, o quanto cada condição de mar contribuiu para o transporte sedimentar no setor estudado durante o período de um ano. Além disso, apresenta o valor líquido da deriva litorânea no Setor 01 que teve sentido positivo (+), ou seja, os sedimentos carreados para nordeste.

Tabela 9 - Transporte Longitudinal e Taxas Líquidas de Transporte Longitudinal

Condições de Mar		Vagas NE (16.9%) Hs 2,2m	Ondulações S (27.3%) Hs 4,5m	Ondulações SE (15.8%) Hs 5,2m	Ondulações ENE (25.8%) Hs 1,8m	Vagas S (8.6%) Hs 2,3m
Transporte anual/condição de mar (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE (+)	199,15	482755,58	567629,44	771,21	27,39
	Bruto p/ SW (-)	-1524,58	-142234,52	-129621,04	-1030,05	-8,32
	LÍQUIDO	-1325,43	340521,06	438008,40	-258,84	19,07
Transporte anual (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE TOTAL	1051382,79				
	Bruto p/ SW TOTAL	-274418,53				
	LÍQUIDO	776964,26				

### 6.3.2 SETOR 02

O setor 02 (figura 44), na área que foi modelada apresenta comprimento de 20 km e sua direção é N32E, a direção da costa neste setor diminuiu um pouco em relação ao setor anterior (Setor01). O setor 02 apresentou na malha computacional as seguintes características:

- Dimensão X (perpendicular à linha de costa) 16100 m ou 460 linhas;
- Dimensão Y (paralela à linha de costa) 20790 m ou 594 colunas

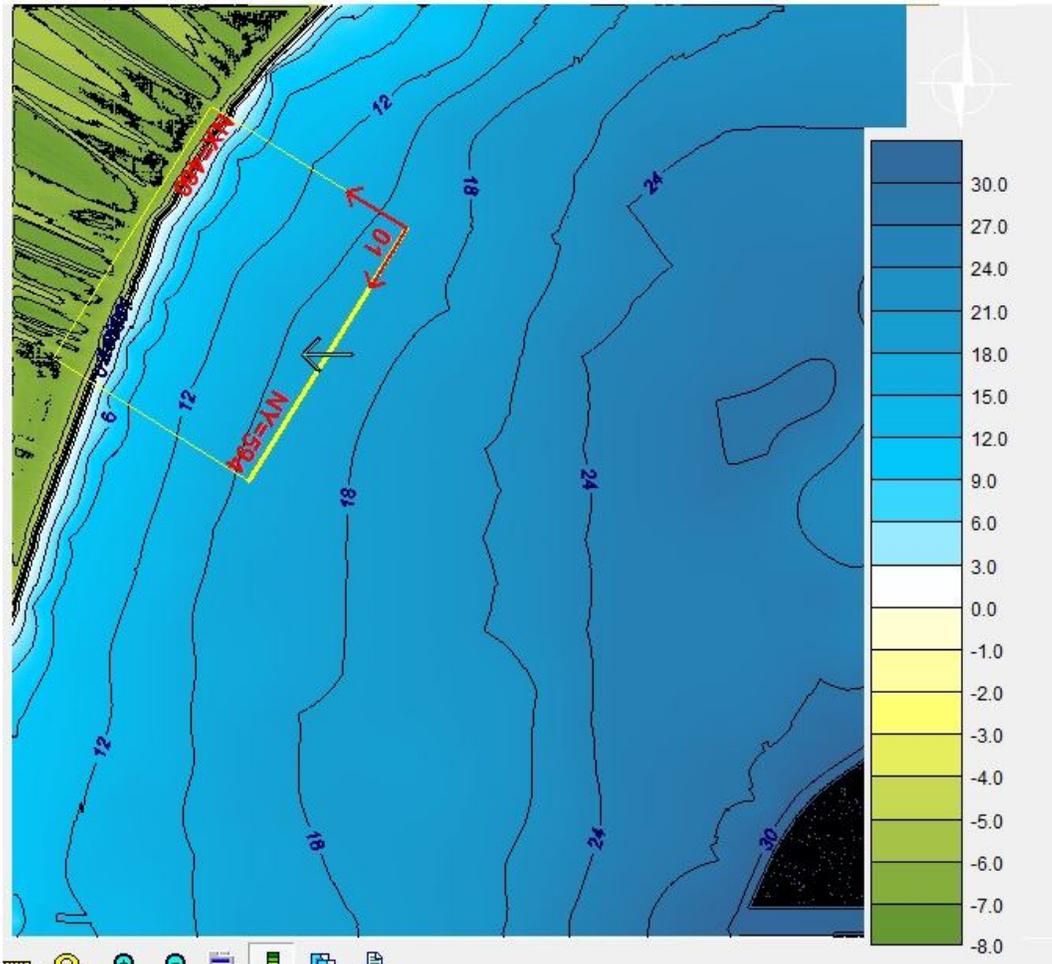
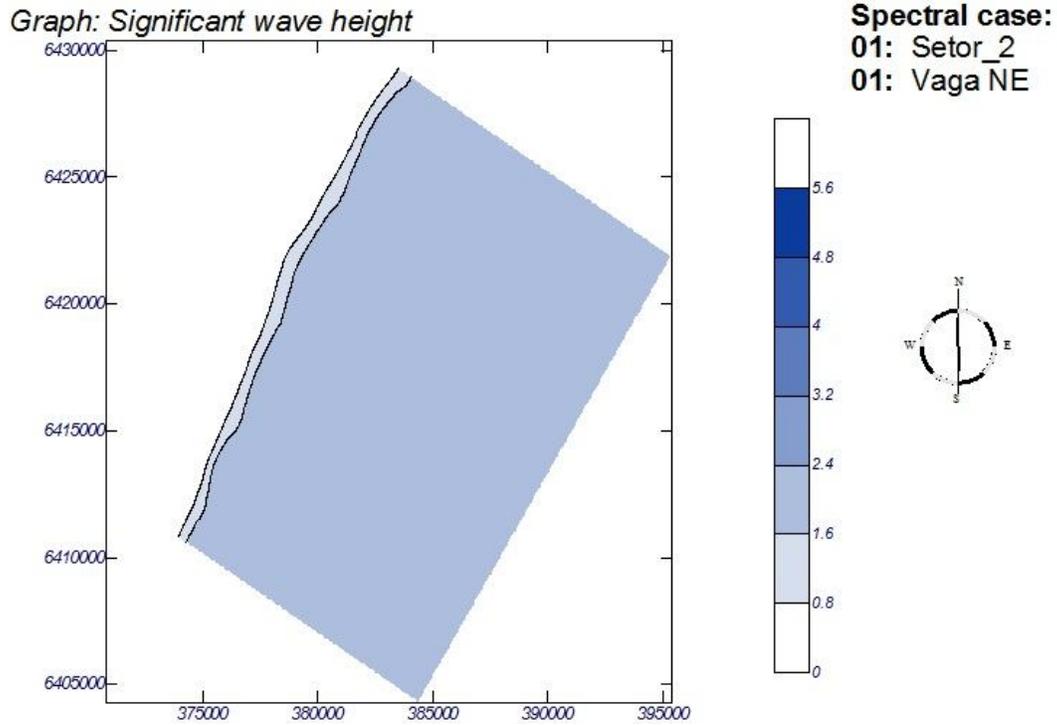


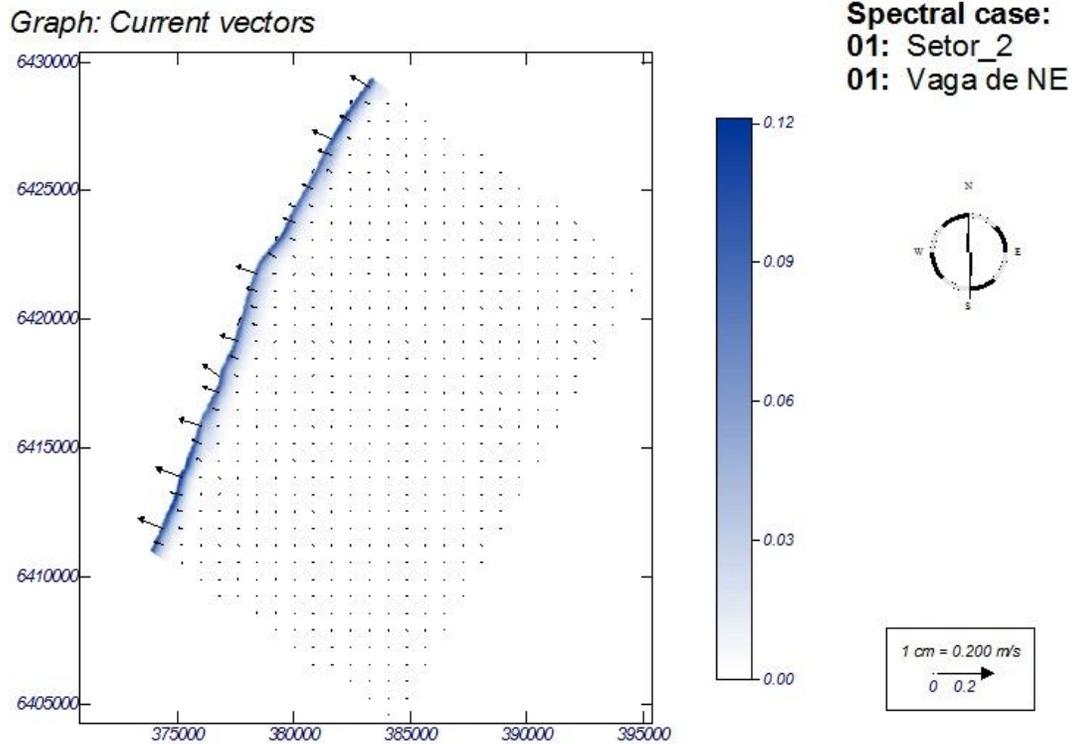
Figura 44 Setor 02

### VAGAS DE NORDESTE



**Figura 45** Altura significativa das ondas no setor 02/vagas NE

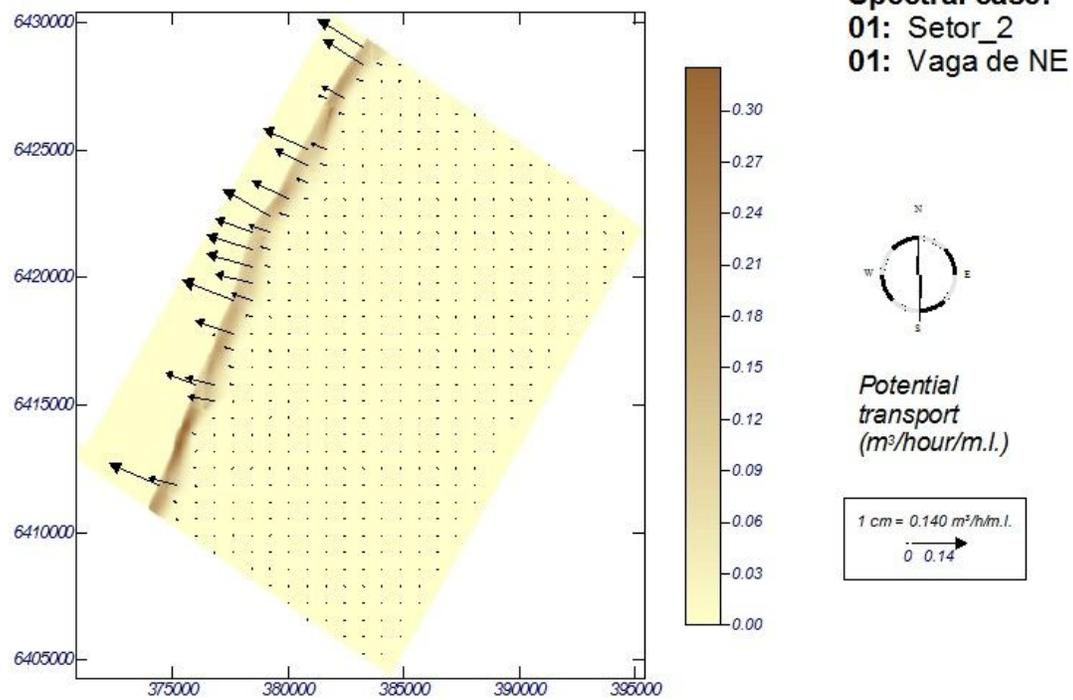
A incidência deste caso no setor 02, a onda praticamente não sofreu processo de refração, o que se percebe é que, em verdade, ela apenas foi acompanhando a subida do assoalho e sofrendo arrebenção próxima a linha de costa, dissipando a sua energia paulatinamente como pode ser vista na figura 45.



**Figura 46** Correntes longitudinais no setor 02/vagas NE

A maneira de ataque de ondas de leste/nordeste não propicia a formação acentuada de corrente longitudinal, embora haja, ela não apresentou velocidade acentuada. Seu valor ficou em 0,06 m/s. Como já foi observada em outros casos, ela não representa um caso de possível alteração da costa (Figura 46).

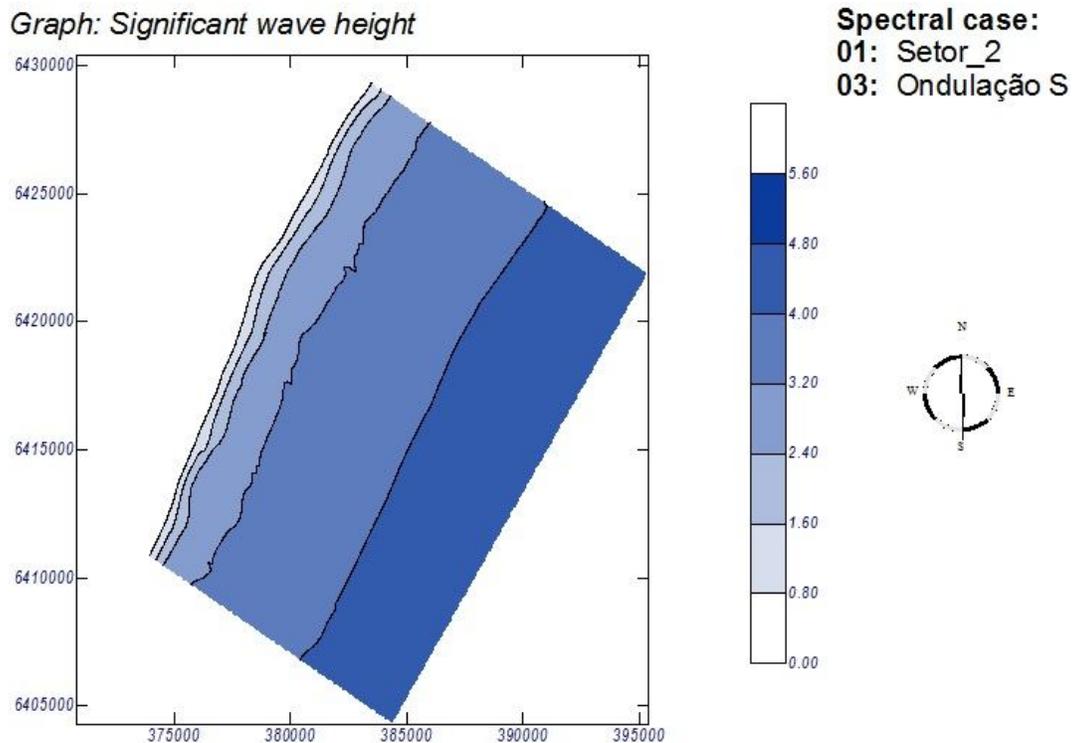
Graph: Combined graph of transport vectors and intensity



**Figura 47** Potencial do transporte sedimentar no setor 02/vagas NE

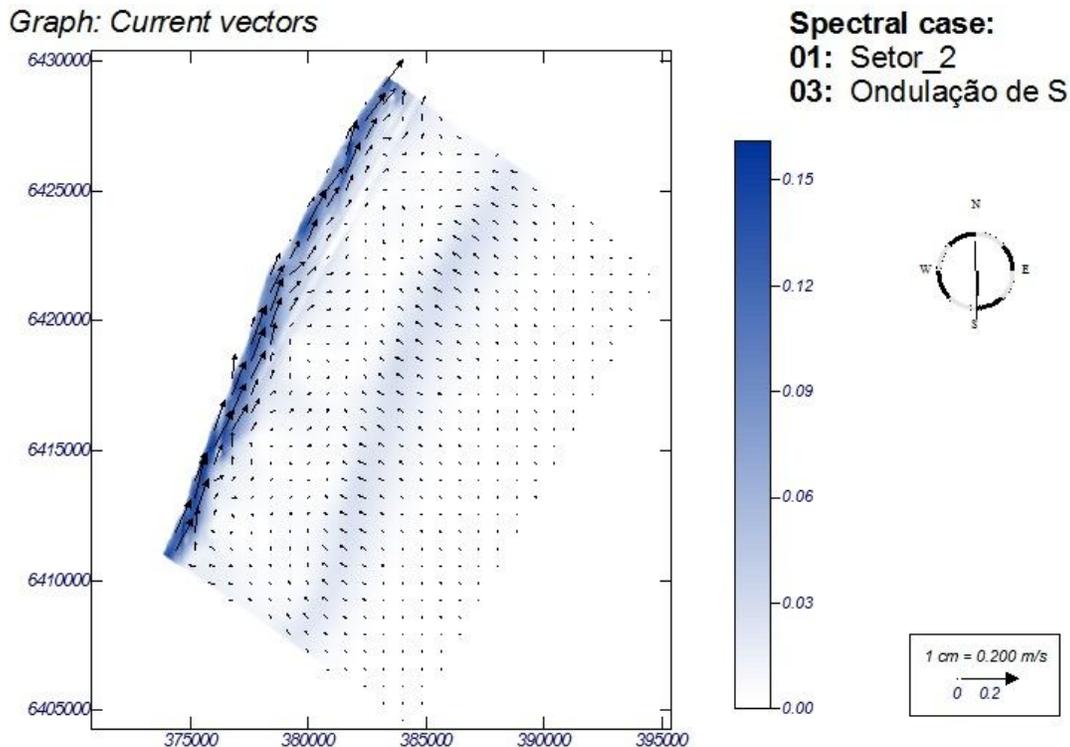
Conforme o esperado seu valor de transporte de areia foi pequeno, tendo o valor de 0,16 m<sup>3</sup>/h, este transporte tende ir para sudoeste, conforme a figura 47.

## ONDULAÇÕES DE SUL



**Figura 48** Altura significativa das ondas no setor 02/ondas S

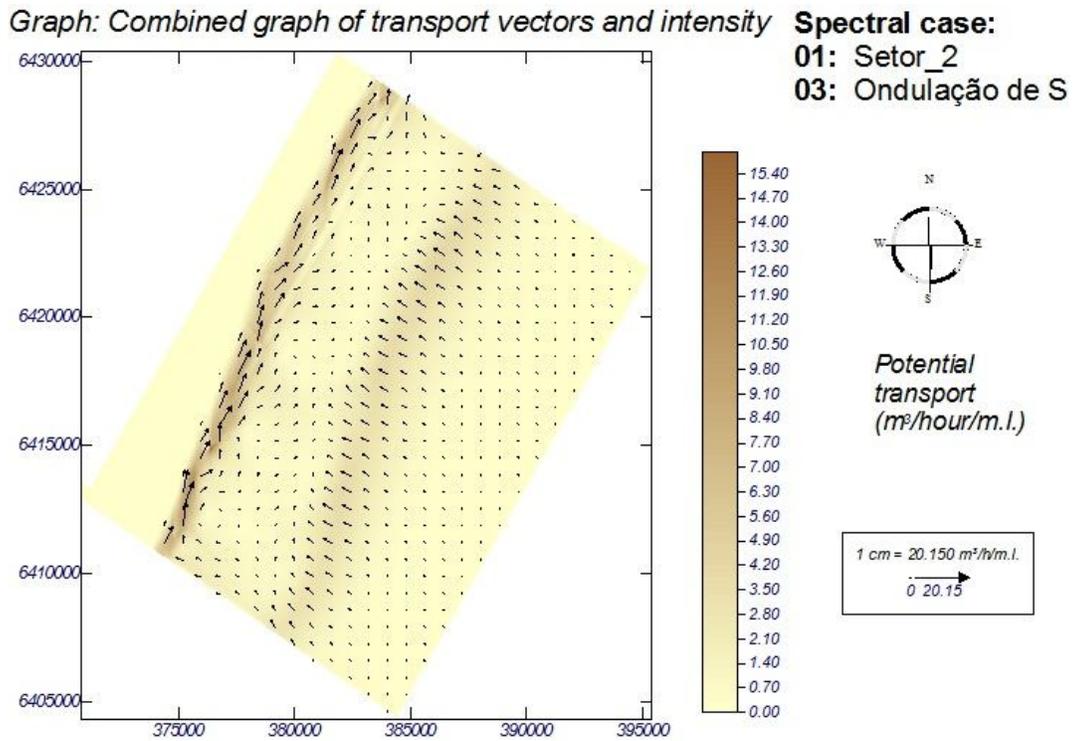
A ondulação de S neste setor favoreceu a quebra de onda mais homogênea em relação ao setor 01 que apresenta o banco das 3 Marias, desta maneira as isolinhas da altura significativa de onda ficaram orientadas paralelas a costa, podendo ser visualizada na figura 48.



**Figura 49 Correntes longitudinais no setor 02/ondas S**

Diante desta condição batimétrica, com relativa homogeneidade, a corrente se formou de forma mais marcante próxima à linha de costa onde os vetores corrente são maiores, de acordo com a figura 49. É importante lembrar que a obliquidade da direção de propagação é fundamental para originar a corrente que teve valor médio na ordem de 0,09 m/s e esta com sentido voltado para nordeste.

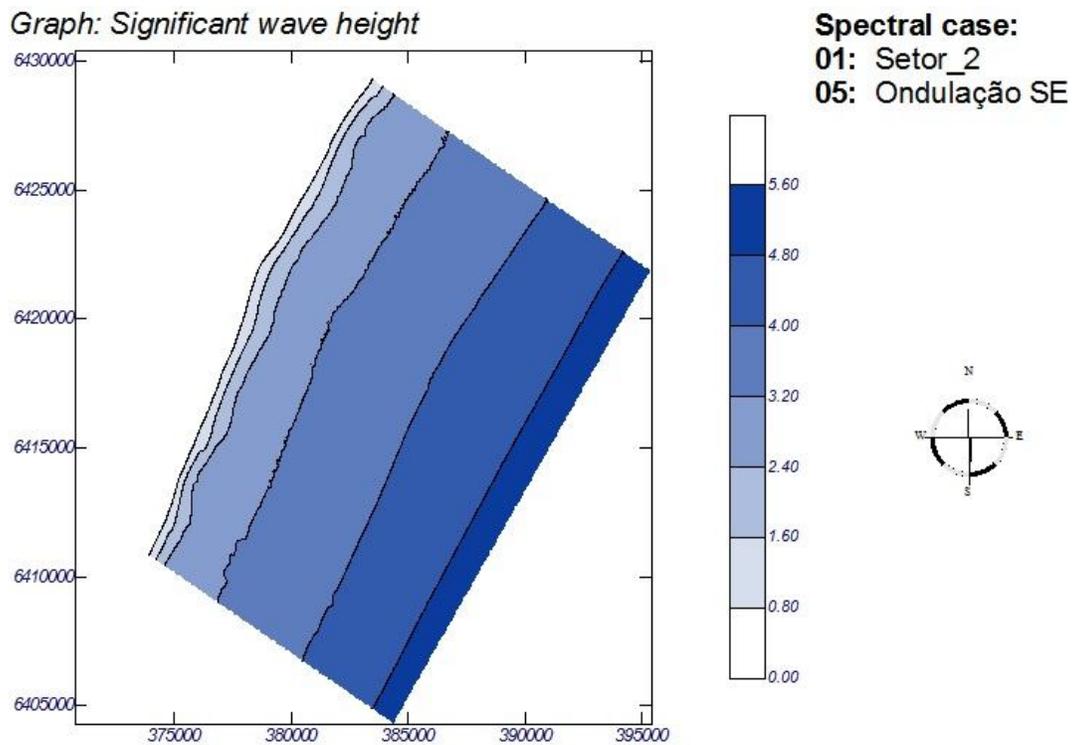
Há um fato curioso na visualização desta figura (49) porque no campo de correntes existem duas direções bem identificadas, sendo uma próxima a zona de arrebatção tendo sentido para NE e outra mais distante, paralela à costa, mas vetores velocidades com sentido normal a linha de costa. Este último campo de correntes, mais distante da praia, representa algum fenômeno desconhecido, limitação batimétrica ou do próprio SMC, uma vez que as correntes são induzidas pelas quebras das ondas e não deveriam estar aparecendo na saídas dos dados.



**Figura 50** Potencial do transporte sedimentar no setor 02/ondas S

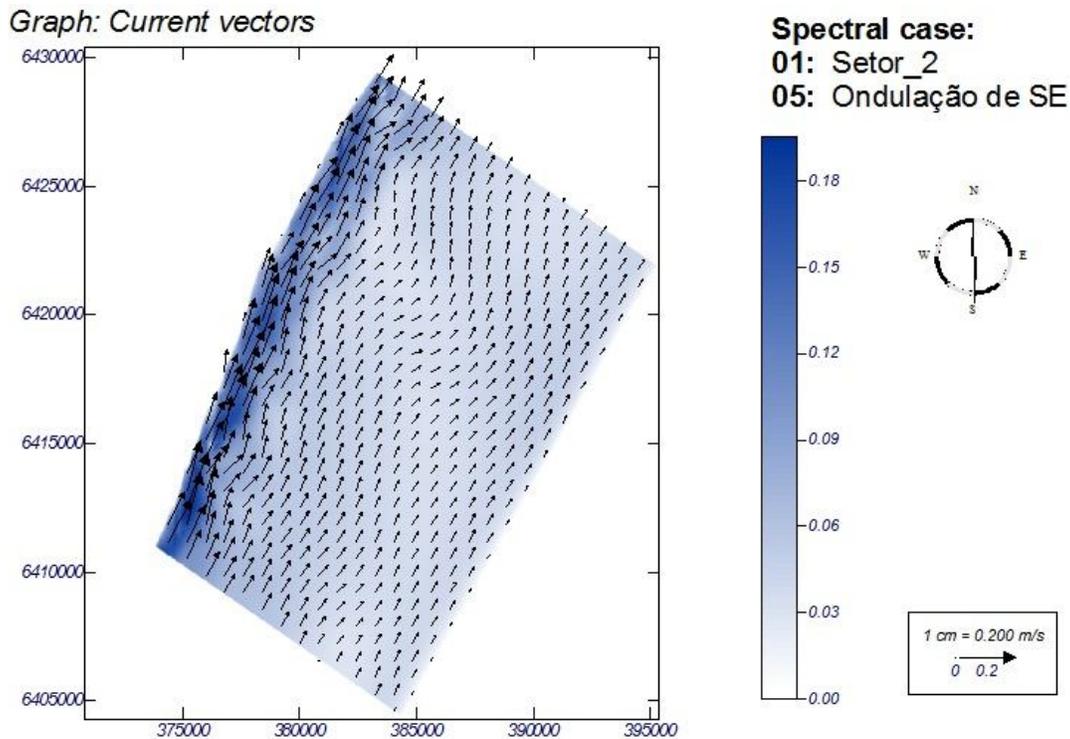
Assim como os demais casos de Ondulação de S, que desempenham importante papel no transporte sedimentar para a costa do Rio Grande do Sul, este não é diferente, com valor de potencial de: 8  $m^3/h$  (maior potencial do Setor 02) mostra que ondulações deste quadrante tem uma maior dinâmica quando comparado a Vaga de NE (Figura 50).

### ONDULAÇÕES DE SUDESTE



**Figura 51** Altura significativa das ondas no setor 02/ondulação SE

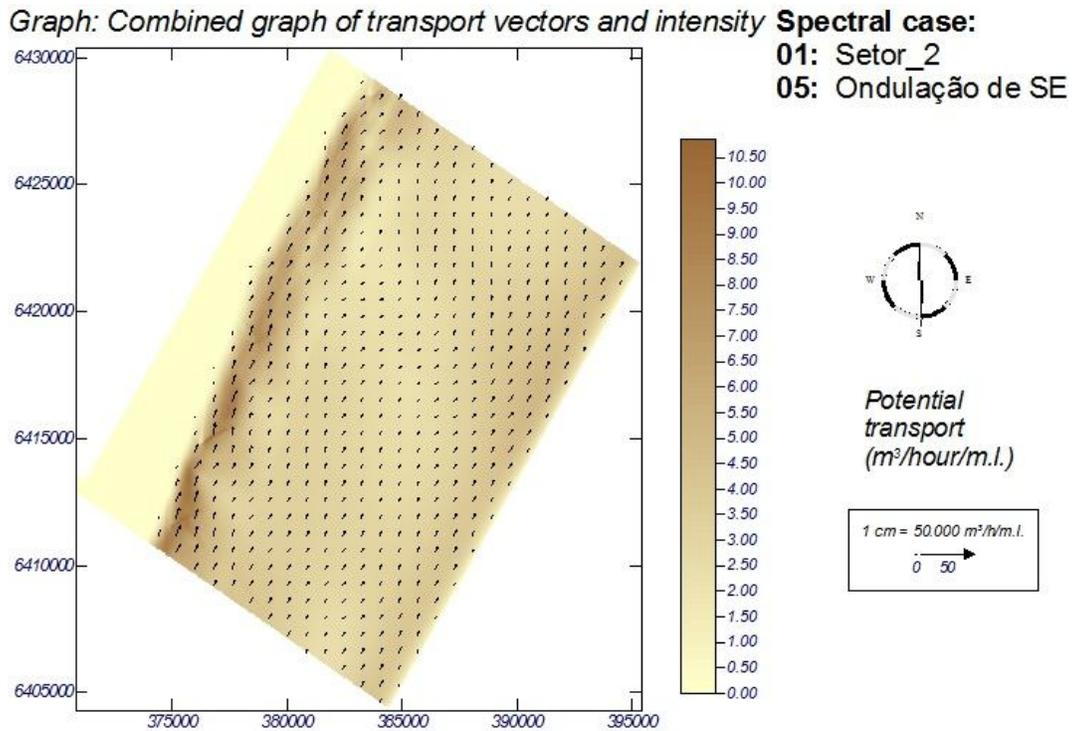
Caso bem semelhante ao anterior, diferenciando em algumas características de onda como altura em que esta é maior, embora com período menor. A ideia com relação a ondulação de S é mesma, mas a discretização das alturas significativas de ondas são maiores, isto se deve, provavelmente pela situação do trem de ondas começar a sentir o fundo em batimétricas mais profundas. A figura 51 ajuda a compreender isso.



**Figura 52 Correntes longitudinais no setor 02/ondulação SE**

A formação da corrente longitudinal também ficou próxima à linha de costa e sua origem foi bem definida, devido à incidência oblíqua das ondas, conforme a visualização da figura 52. Esta apresentou um valor médio de 0,10m/s, ou seja, aumentou apenas uma unidade em relação ao caso de Ondulação de S.

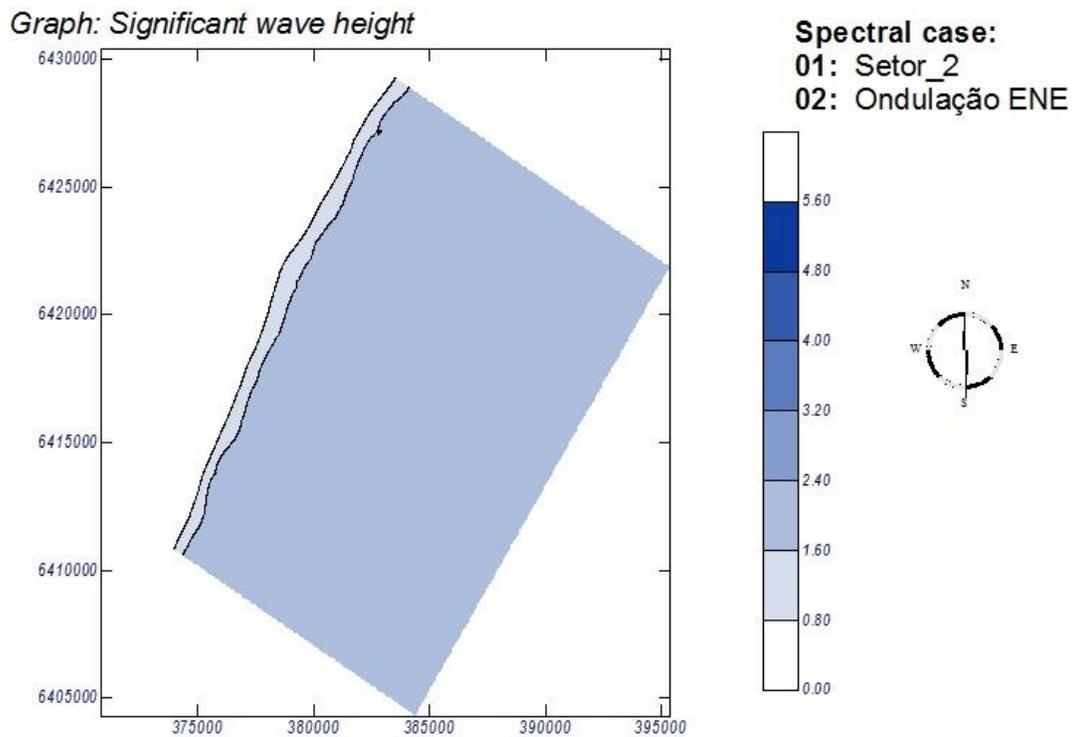
Como pode ser percebida as correntes geradas pelo quadrante sul são intensas como esta Ondulação de SE não só pela visualização da figura 52 como também pela prática de campo, pois em alguns casos era difícil para o operador se equilibrar e acompanhar a medição da corrente longitudinal durante a prática de campo. Todavia a visualização da mesma figura 52 percebe-se que há um exagero na saída dos dados, isto é, talvez o modelo esteja superestimando estes resultados, pois mesmo considerando que há fluxos turbulentos devido a viscosidade e que estes ultrapassam a zona de surf ainda sim a presença de vetores correntes em batimétricas profundas (e.g 15m) não se justificaria, uma vez que a corrente longitudinal é induzida pelas ondas e deveriam aparecer somente na zona de arrebentação.



**Figura 53 Potencial do transporte sedimentar no setor 02/ondulação SE**

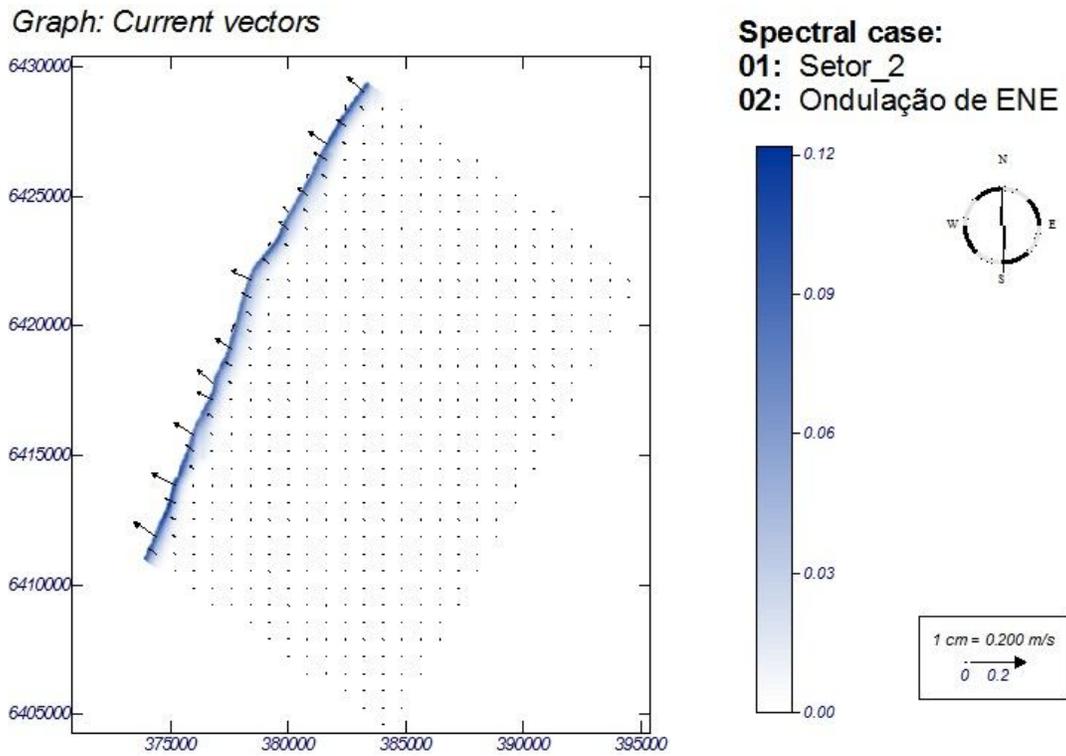
O transporte deste caso, assim como a corrente, foi próximo ao caso passado tendo o resultado de potencial na ordem de  $6 m^3/h$ , carregando a classe da areia para nordeste, principalmente próximo à costa onde esta velocidade de transporte é maior, de acordo com a figura 53. Tanto este caso como o de Ondulação de S pode representar um processo mais marcante de mudança da região costeira.

### **ONDULAÇÕES DE LESTE-NORDESTE**



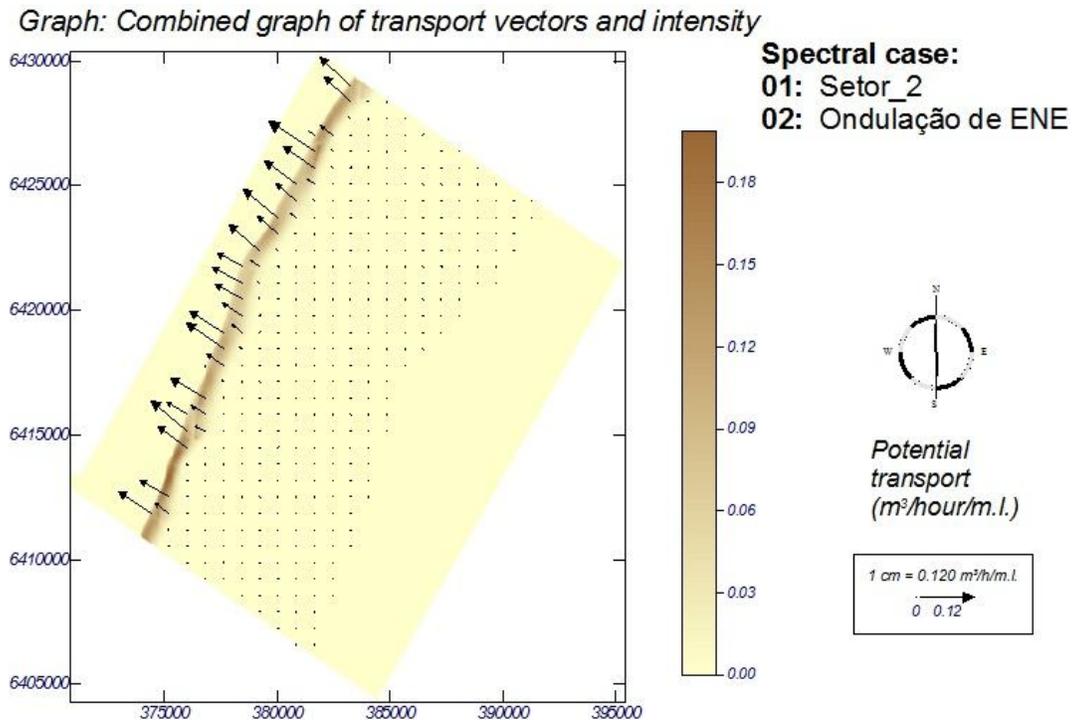
**Figura 54** Altura significativa das ondas no setor 02/ondulação ENE

Esta condição de mar não apresenta uma quantidade energética elevada e ela incide na costa, praticamente, normal à costa e não permite a formação de grande corrente. No caso, as alterações das ondas ocorrem nas proximidades das batimétricas rasas, momento que “sente” o fundo. Desta maneira percebem-se pela figura 54 as isolinhas das alturas de ondas diminuindo somente próximo a cota de zero (0).



**Figura 55 Correntes longitudinais no setor 02/ondulação ENE**

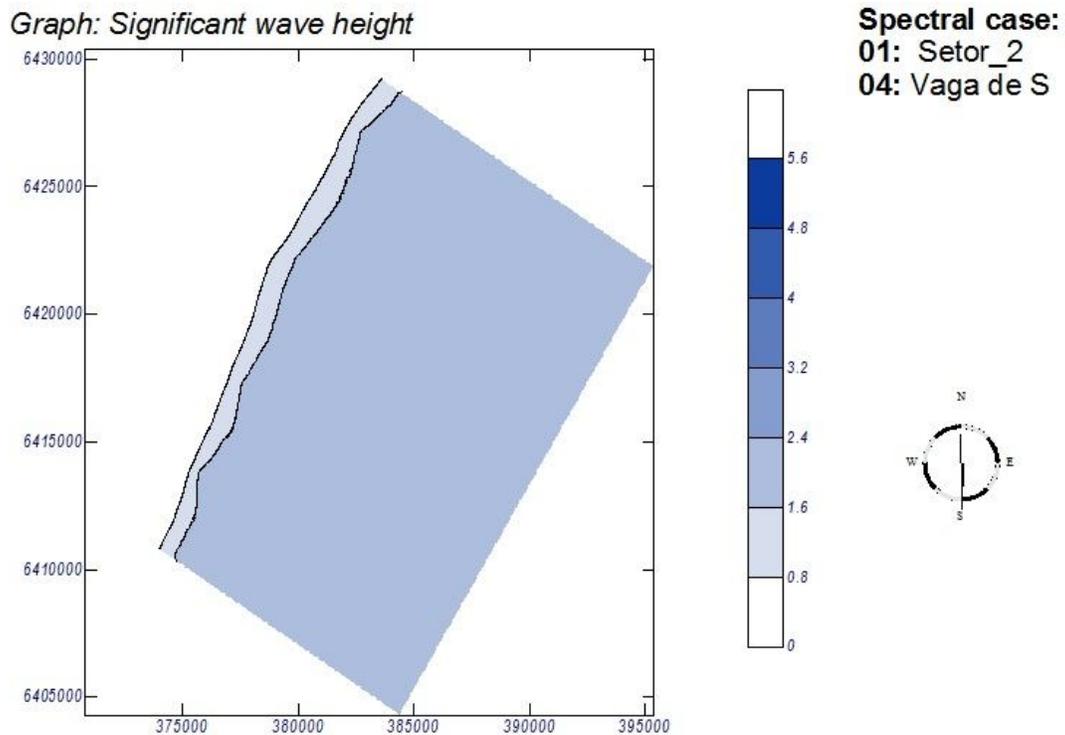
Corrente longitudinais formadas sobre essa condição para costa do Rio Grande do Sul apresentaram valores baixos, este foi de 0,06 m/s com suave disposição de ir para sudoeste, de acordo com a figura 55.



**Figura 56** Potencial do transporte sedimentar no setor 02/ondulação ENE

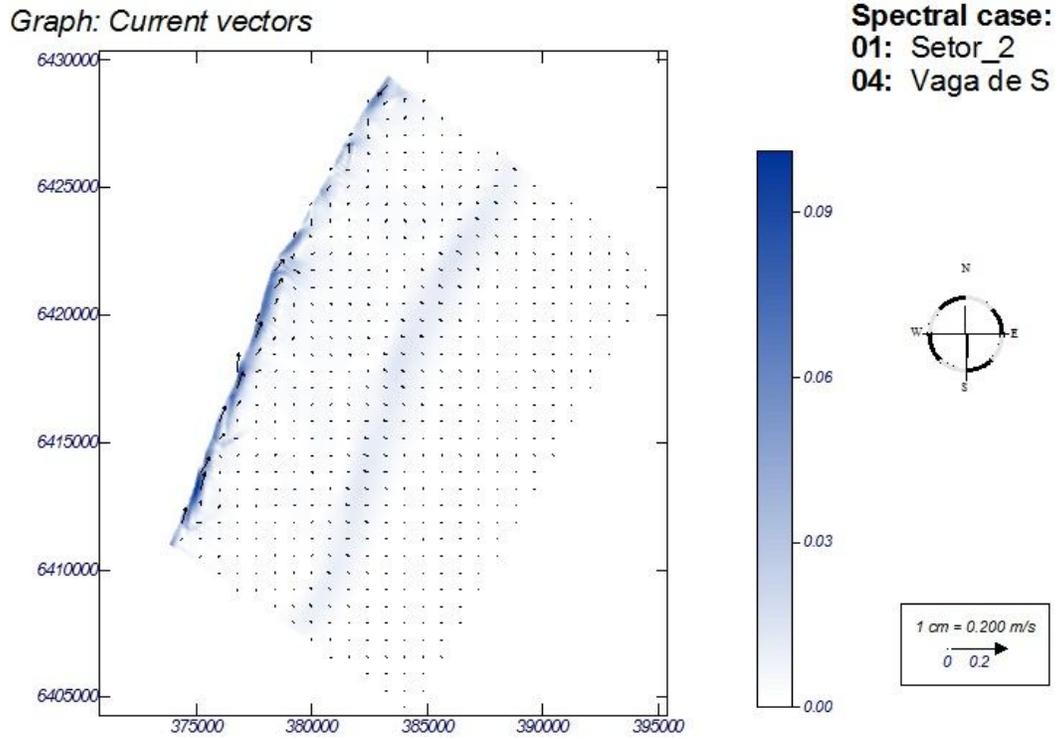
Interligando corrente-transporte, já que uma associa-se com outra, não podemos esperar grande transporte sedimentar neste caso, como ocorreu, pois seu valor de potencial foi de  $0,11 m^3/h$ , o que não representa uma grande capacidade de fluxo sedimentar quando comparado com Swell's do quadrante sul. Pela figura 56 observa-se movimentação sedimentar próximo a cota zero(0) da batimentria.

## VAGAS DE SUL



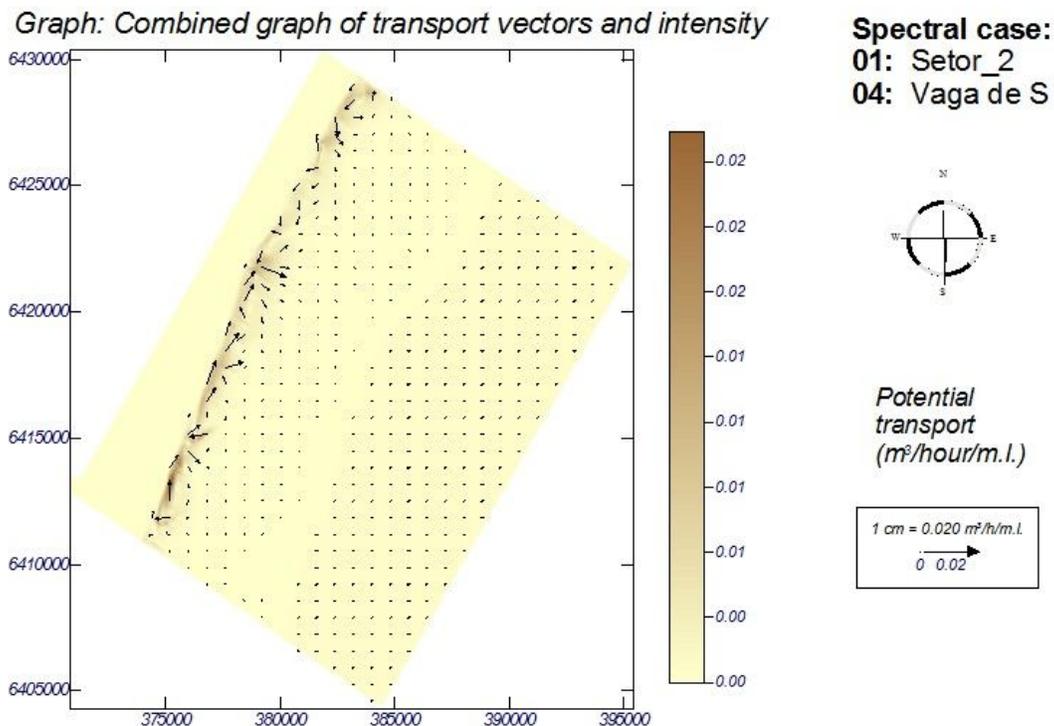
**Figura 57** Altura significativa das ondas no setor 02/vagas S

Este caso, apresenta pouca energia já que seu período e altura significativa de onda são baixos como pode ser visto na figura 57, mas em termos de formação da corrente longitudinal ela apresenta relevância, pois sua incidência de ondas de modo oblíqua permite a formação de corrente longitudinal em batimétricas mais profundas (ou na zona de antepraia).



**Figura 58 Correntes longitudinais no setor 02/vagas S**

A velocidade baixa é esperada no caso e ela tem o valor de 0,05m/s orientadas para nordeste tendo pouca capacidade para transportar sedimentos, de acordo com a figura 58.



**Figura 59** Potencial do transporte sedimentar no setor 02/vagas S

Conseqüentemente o potencial de transporte é reduzido nesse caso de Vaga de S, este resultado foi de 0,01 m<sup>3</sup>/h (menor potencial do Setor02), o que praticamente não remobiliza a areia neste Setor02 neste cenário, contribuindo para um estado de equilíbrio da costa, conforme a figura 59.

A tabela 10 abaixo mostra, de forma sintética, o quanto cada condição de mar transporta ao longo de um ano. Além disso, apresenta o valor líquido deste transporte no Setor02 que teve sentido positivo (+) que representa ir para nordeste.

**Tabela 10: Quantidade de sedimento transportada em cada condição de mar e o transporte líquido para o setor02**

Condições de Mar		Vagas NE (16.9 %) Hs 2,2m	Ondulações S (27.3 %) Hs 4,5m	Ondulações SE (15.8 %) Hs 5,2m	Ondulações ENE (25.8 %) Hs 1,8m	Vagas S (8.6 %) Hs 2,3m
Transporte anual/condição de mar (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE (+)	16,32	465797,58	952709,63	1118,64	22,77
	Bruto p/ SW (-)	-2496,05	-187129,27	-48,88	-1075,68	-7,35
	LÍQUIDO	-2479,73	278668,31	952660,74	42,95	15,42
Transporte anual (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE TOTAL	1419664,96				
	Bruto p/ SW TOTAL	-190757,25				
	LÍQUIDO	1228907,70				

### 6.3.3 SETOR 03

O setor 03 (figura 60), na área que foi modelada apresenta comprimento de 12 km e sua direção é N29E, a direção da costa neste setor diminuiu um pouco em relação ao setor anterior (Setor02). O setor 03 apresentou na malha computacional as seguintes características:

- Dimensão X (perpendicular à linha de costa) 18130 m ou 518 linhas;
- Dimensão Y (paralela à linha de costa) 16130 m ou 461 colunas

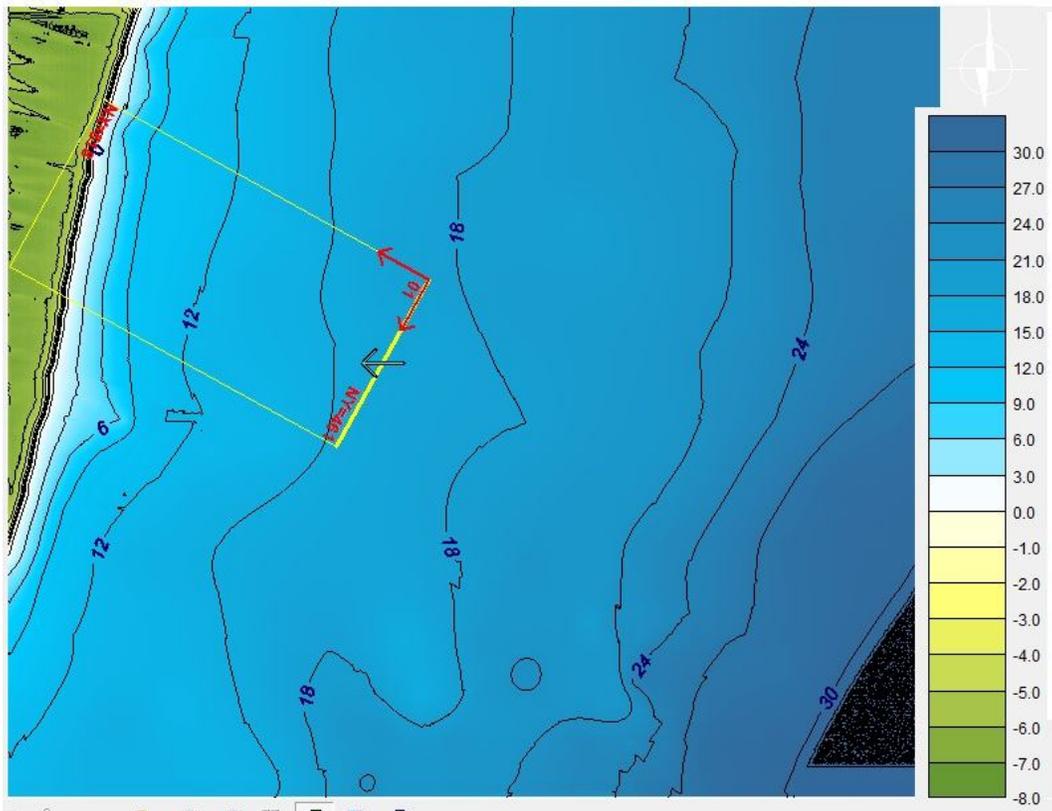
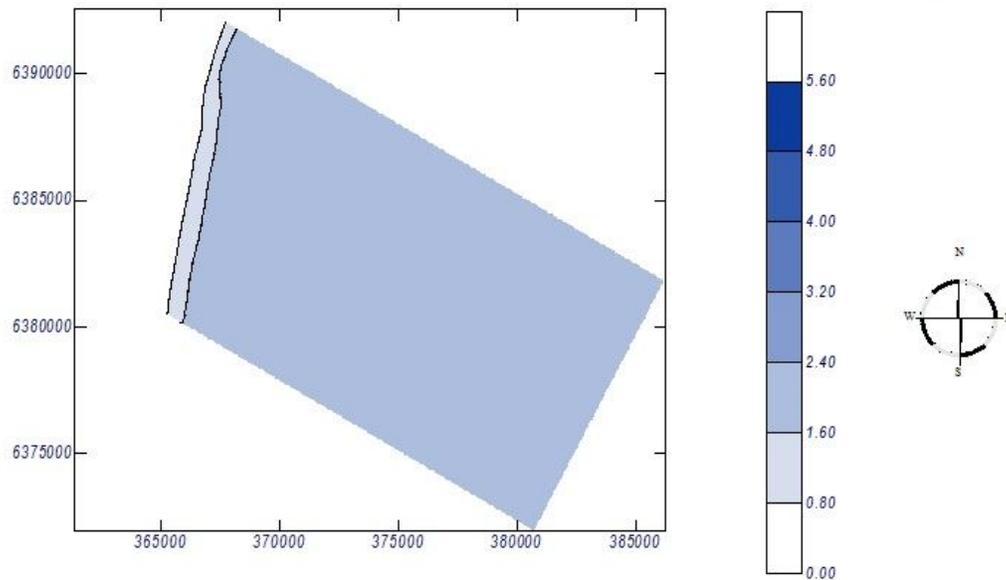


Figura 60 Setor 03

### VAGAS DE NORDESTE

Graph: Significant wave height

Spectral case:  
01: Setor\_3  
01: Vaga NE

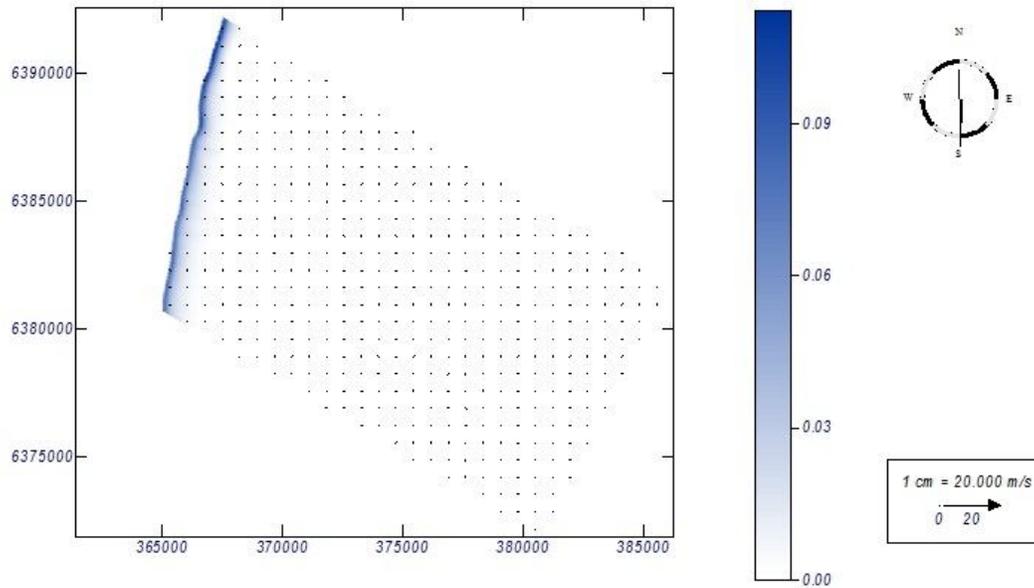


**Figura 61** Altura significativa das ondas no setor 03/vagas NE

Este caso de Vaga de NE para o Setor 03 seguiu a lógica de propagação desta Vaga de NE, como já foi mostrado nos outros setores, embora neste caso tenha havido uma refração um pouco maior, ainda é muito modesta para gerar corrente longitudinais mais proeminentes na zona de antepraia, conforme a figura 61.

Graph: Current vectors

Spectral case:  
01: Setor\_3  
01: Vaga de NE

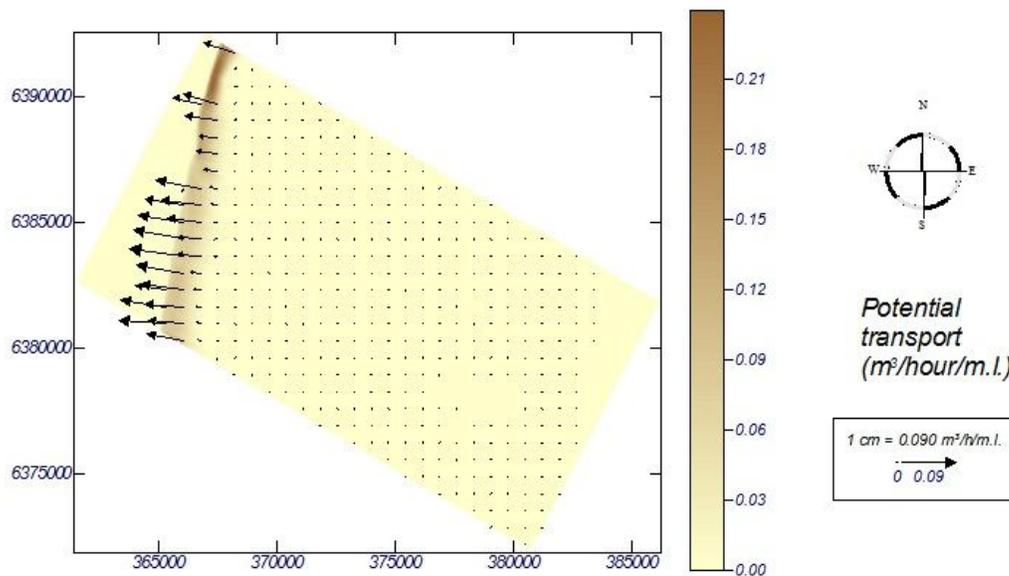


**Figura 62 Correntes longitudinais no setor 03/vagas NE**

A velocidade da corrente ficou 0,05m/s tendo uma tendência a ser orientada para sudoeste, de acordo com a figura 62. Com essa velocidade de transporte a areia não tende a ser muito carregada.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

**Spectral case:**  
**01: Setor\_3**  
**01: Vaga de NE**



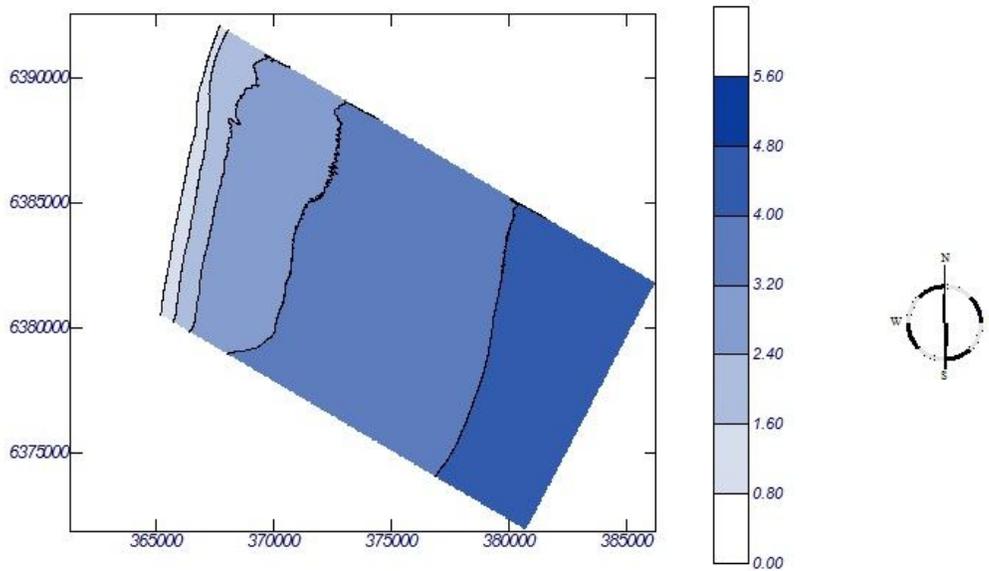
**Figura 63** Potencial do transporte sedimentar no setor 03/vagas NE

Corrente e o transporte são grandezas diretas, logo o potencial de transporte sedimentar foi baixo, na ordem de  $0,12 m^3/h$ , podendo ser visualizada na figura 63. É de se esperar com transportes pequenos que não haja alteração na costa ou caso tenha que seja pequena.

## ONDULAÇÕES DE SUL

Graph: Significant wave height

Spectral case:  
01: Setor\_3  
04: Ondulação S

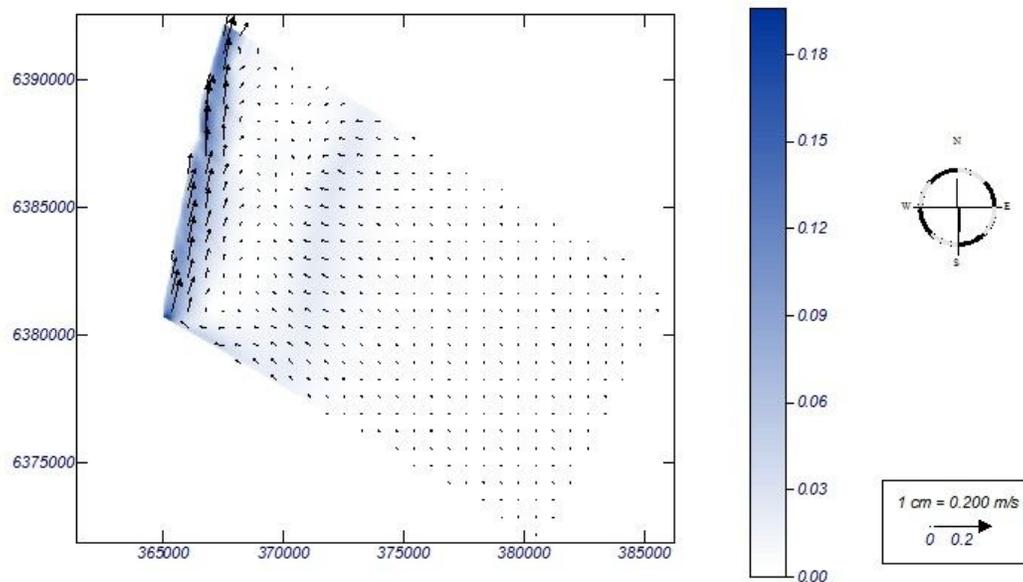


**Figura 64** Altura significativa das ondas no setor 03/ondas S

Essa ondulação já mostrou que apresenta muita energia e a forma como ela chega à costa, propicia a formação da corrente longitudinal para nordeste de modo bem claro, de acordo com a figura 64.

Graph: Current vectors

Spectral case:  
01: Setor\_3  
04: Ondulação de S



**Figura 65** Correntes longitudinais no setor 03/ondas S

A velocidade desta, neste caso, foi de 0,10 m/s, ou seja, o dobro do caso anterior neste mesmo setor, segundo a visualização da figura 65. Analogamente as outras ondas do tipo swell já mostradas neste trabalho, esse caso também terá grande potencial de transporte de areia quando comparado aos outros cenários.

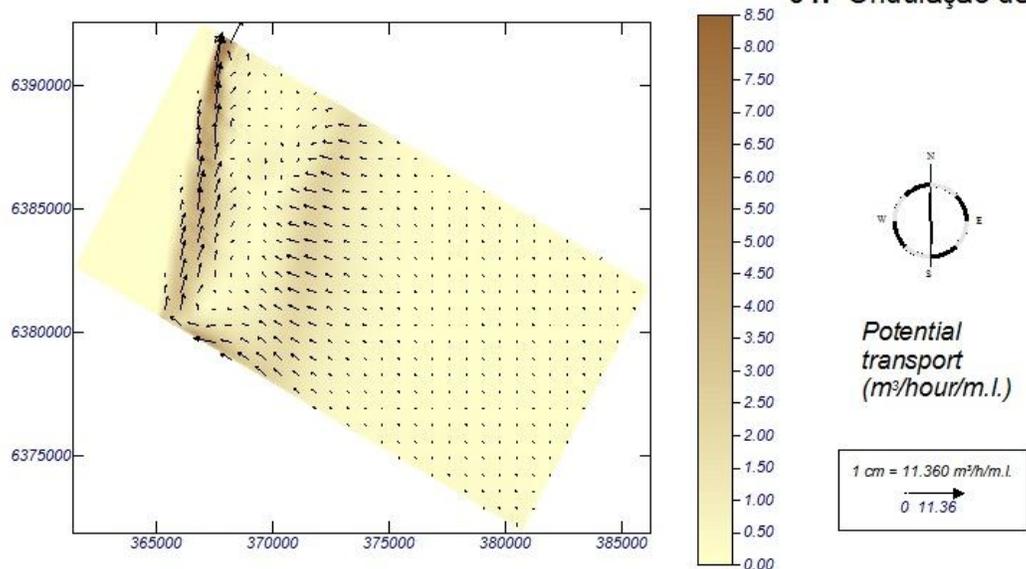
Há um fato curioso na visualização desta figura (65) porque no campo de correntes existem duas direções bem identificadas, sendo uma próxima a zona de arrebentação tendo sentido para NE e outra mais distante, paralela à costa, mas vetores velocidades com sentido normal a linha de costa. Este último campo de correntes, mais distante da praia, representa algum fenômeno desconhecido, limitação batimétrica ou do próprio SMC, uma vez que as correntes são induzidas pelas quebras das ondas e não deveriam estar aparecendo na saídas dos dados.

*Graph: Combined graph of transport vectors and intensity*

**Spectral case:**

**01: Setor\_3**

**04: Ondulação de S**



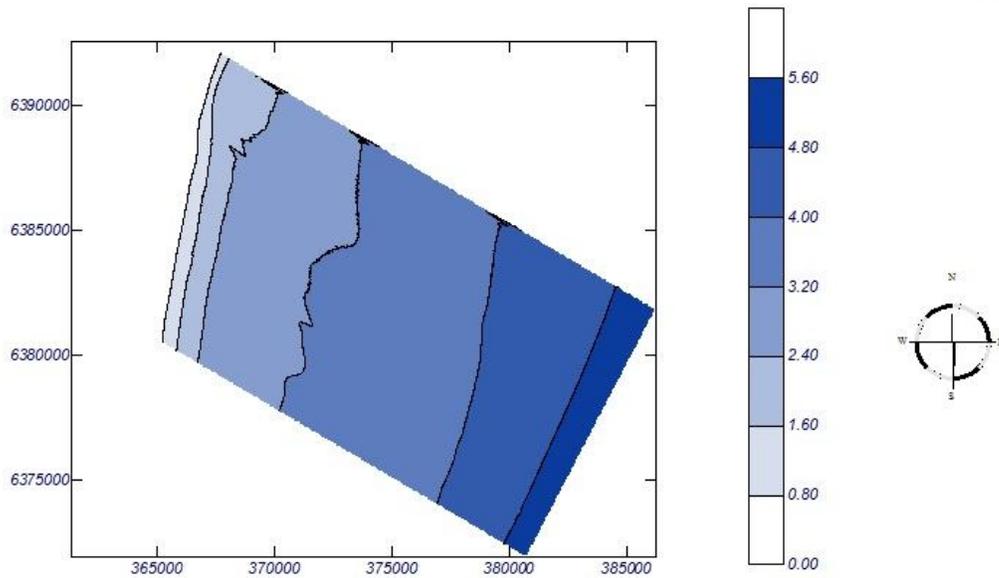
**Figura 66** Potencial do transporte sedimentar no setor 03/ondas S

A capacidade de transporte de sedimento para esse cluster foi de 4, 5 m³/h, pela figura 66, o transporte convergem mesmo para nordeste ou mesmo alimentação do setor02.

## ONDULAÇÕES DE SUDESTE

Graph: Significant wave height

**Spectral case:**  
01: Setor\_3  
03: Ondulação SE

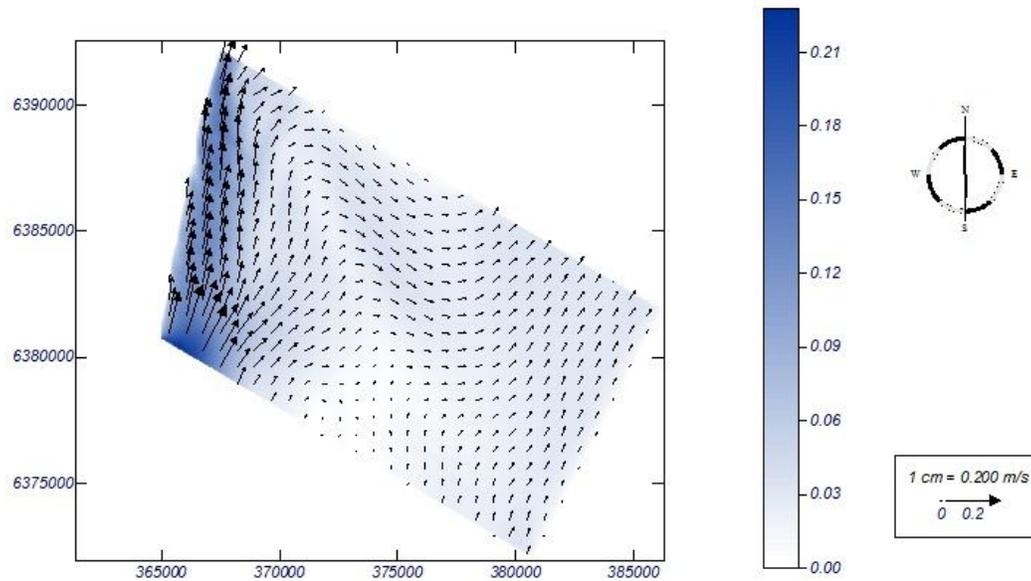


**Figura 67** Altura significativa das ondas no setor 03/ondulação SE

A Ondulação de SE também sofre refração de ondas em batimétricas mais profundas, devido à altura de onda ser maior que no caso anterior (07-05-11-Ondulação S) e isso se formam vetores correntes mais significativos ao longo do domínio da malha computacional. Como pode ser visto na figura 67.

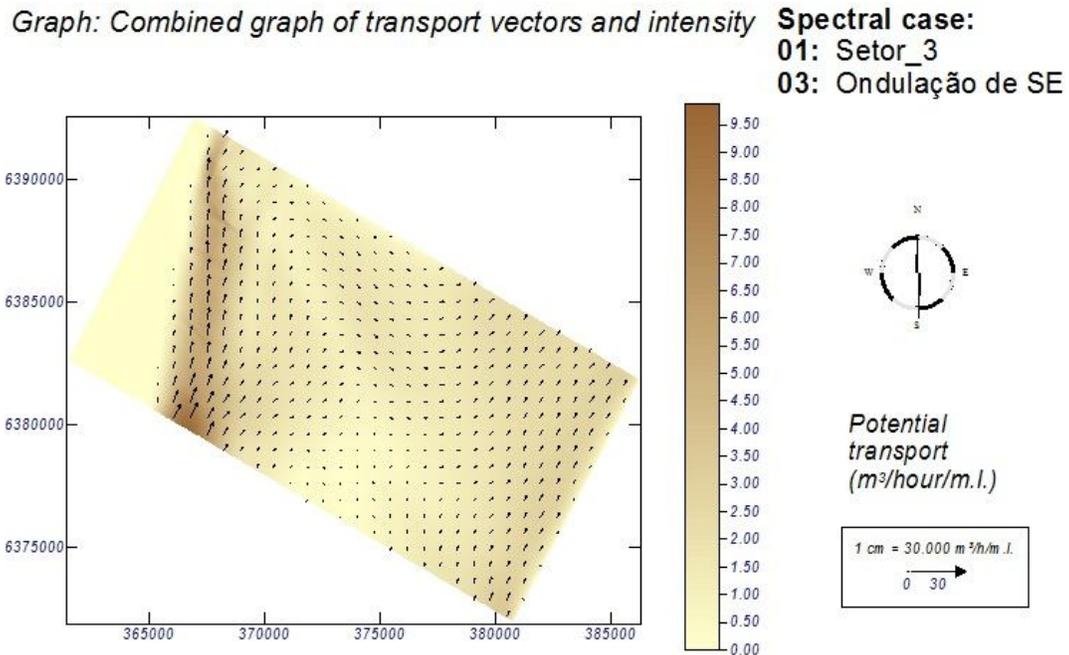
Graph: Current vectors

Spectral case:  
01: Setor\_3  
03: Ondulação de SE



**Figura 68** Correntes longitudinais no setor 03/ondulação SE

Todavia os vetores da corrente longitudinal formados estão presentes mais próximos à linha de costa e apresentaram valores médios de 0,11 m/s, de acordo com a figura 68. Sua propagação foi para nordeste, como também já esperado quando ondas partem do quadrante sul/sudeste.

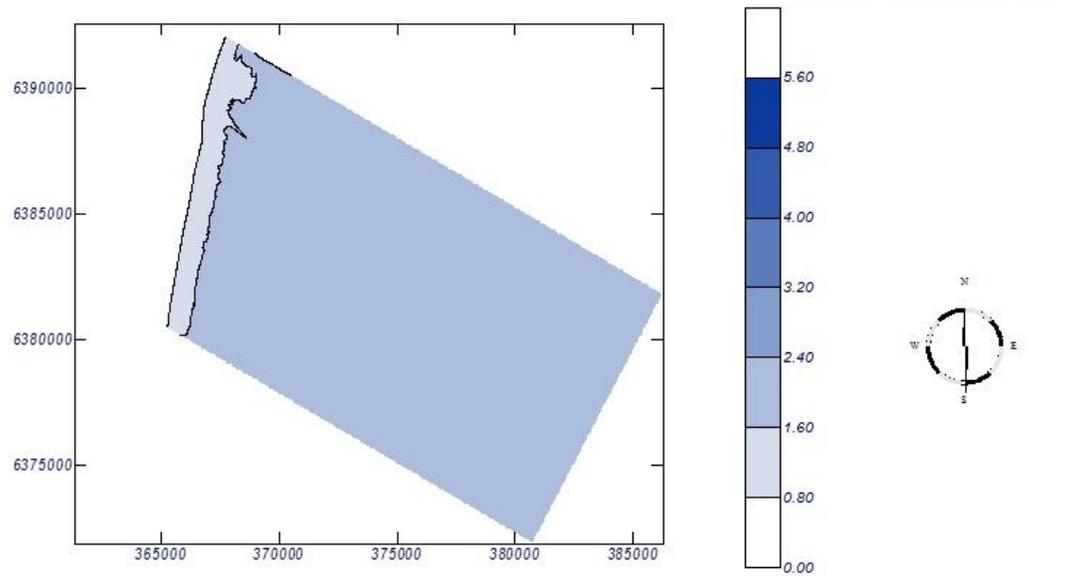


**Figura 69** Potencial do transporte sedimentar no setor 03/ondulação SE

Neste caso o potencial de transporte de areia médio foi de  $5m^3/h$  (maior potencial do Setor03). Este sedimentado que sai do setor 03 pode alimentar a praia do setor02. (Figura 69).

### **ONDULAÇÕES DE LESTE-NORDESTE**

Graph: Significant wave height



**Figura 70** Altura significativa das ondas no setor 03/ondulação ENE

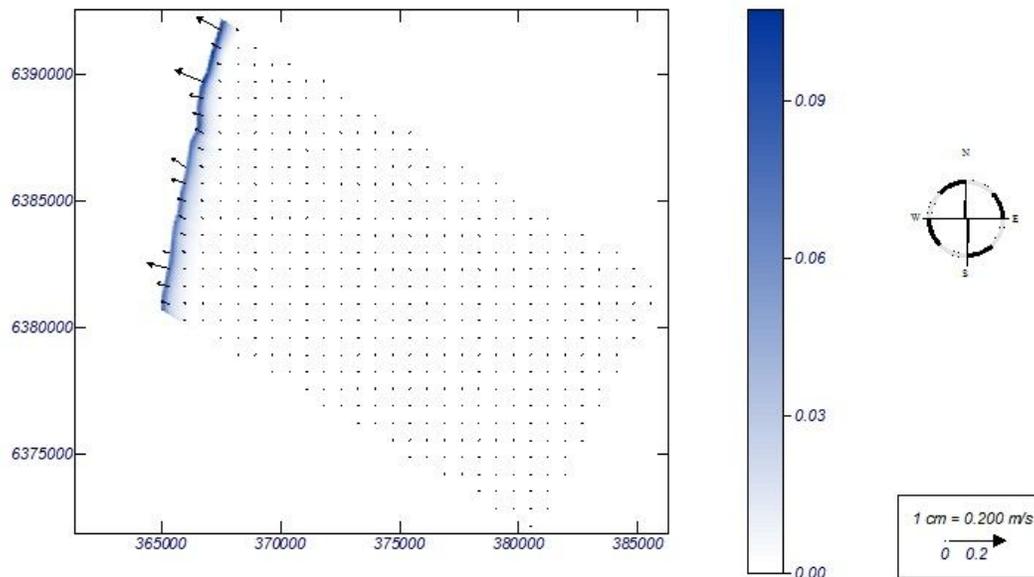
Esta ondulação não apresenta processo de refração de ondas e a energia de ondas também não é tão significativo, basicamente o trem de ondas deste cenário vai dissipando energia ao longo de sua trajetória, conforme a figura 70.

Graph: Current vectors

Spectral case:

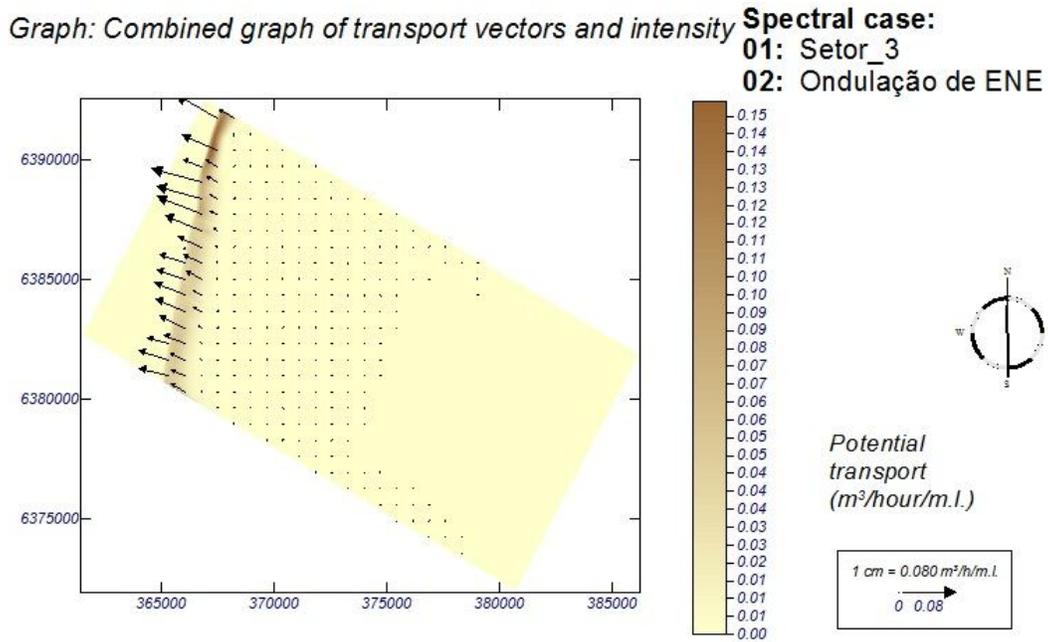
01: Setor\_3

02: Ondulação de ENE



**Figura 71** Correntes longitudinais no setor 03/ondulação ENE

Dessa maneira também, a incidência de ondas não favorece a formação de correntes longitudinais velozes, neste *cluster* o valor de corrente foi de 0,05m/s com suave sentido de propagação para sudoeste, podendo ser visto na figura 71. Isto se deve pelo fato de as ondas começarem a “sentir” o fundo bem próximo da linha de costa.



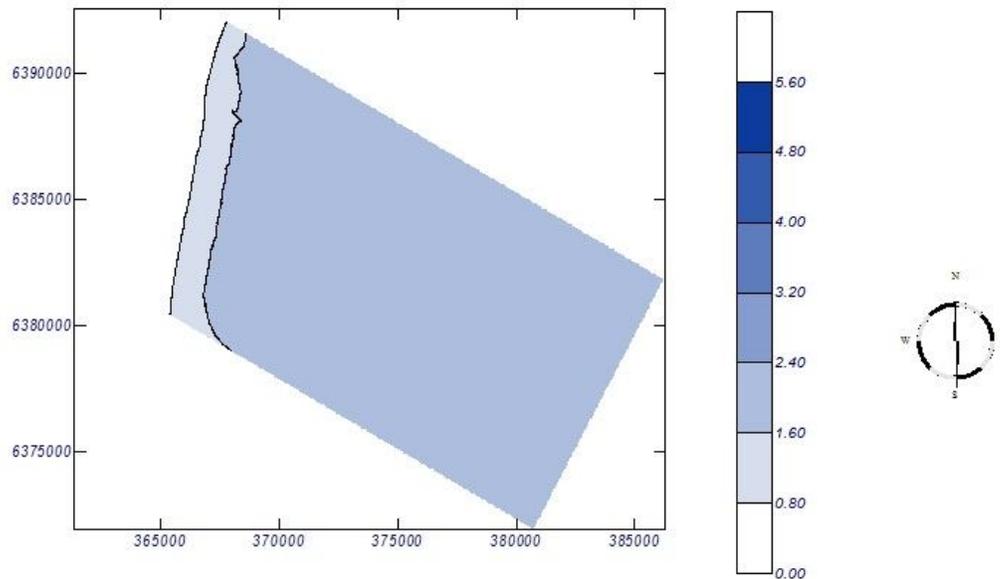
**Figura 72** Potencial do transporte sedimentar no setor 03/ondulação ENE

O valor de transporte em decorrência disso não foi muito acentuado, ficando com o valor médio de  $0,0725m^3/h$ , de acordo com a figura 72. Pouco contributivo para a mudança morfológica do lugar quando comparado com outros tipos de onda que remobilizam e carregam quantidades maiores.

## VAGAS DE SUL

Graph: Significant wave height

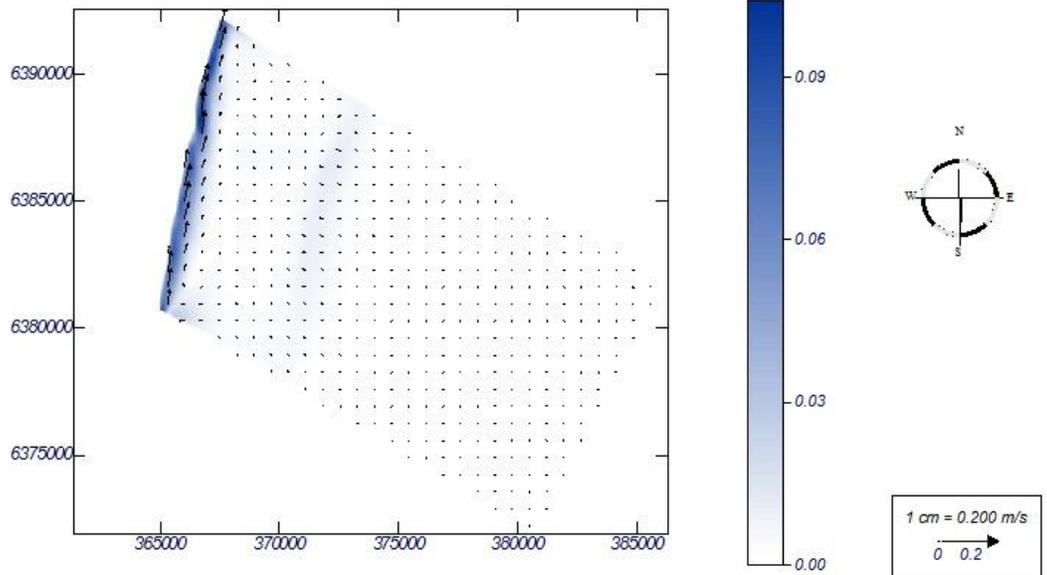
Spectral case:  
01: Setor\_3  
05: Vaga de S



**Figura 73** Altura significativa das ondas no setor 03/vagas S

O caso de Vaga de S assim como a Ondulação de ENE, também não apresenta energia elevada em seu espectro de frequência, mas tem a capacidade de formar corrente longitudinais mais definidas. Isto se deve a sua incidência sobre a costa, já que as mesmas entram com um ângulo oblíquo, conforme a figura 73.

Graph: Current vectors

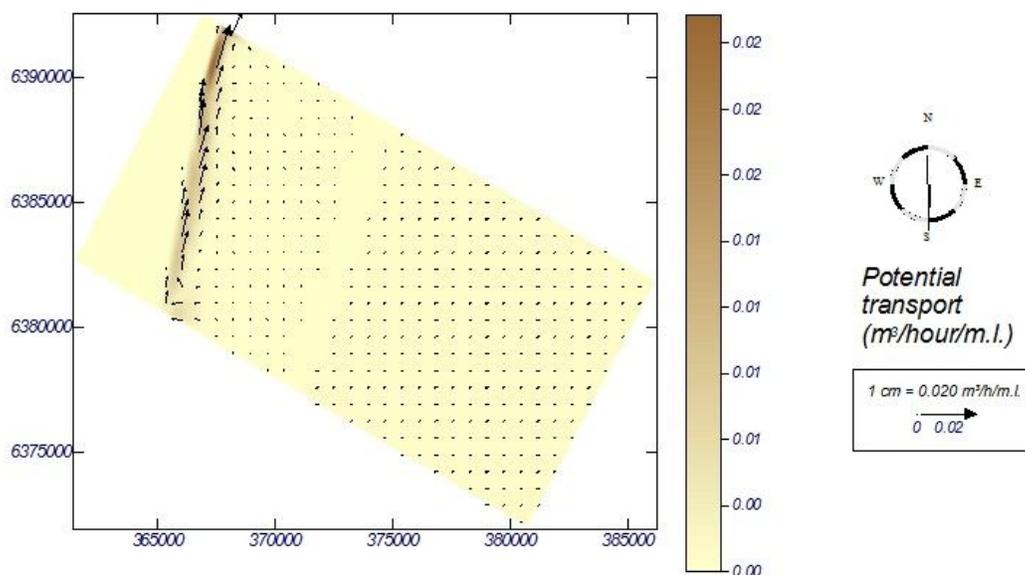


**Figura 74** Correntes longitudinais no setor 03/vagas S

Essas Ondas deste *cluster* começam a “sentir” o fundo próximo a batimétricas rasas devido à altura de onda ser pequena. Neste caso a corrente teve valor de velocidade igual a 0,05m/s indo para nordeste. De acordo com a figura 74.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

**Spectral case:**  
01: Setor\_3  
05: Vaga de S



**Figura 75** Potencial do transporte sedimentar no setor 03/vagas S

O valor de transporte longitudinal para a vaga de S teve o menos valor de potencial e este foi de  $0,01\text{m}^3/\text{h}$ . Esta dinâmica sedimentar não denota grandes alterações morfológicas para o setor 03, conforme a figura 75.

A tabela 11 abaixo mostra, de forma sintética, o quanto cada condição de mar transporta ao longo de um ano. Além disso, apresenta o valor líquido deste transporte no Setor03 que teve sentido positivo (+) que representa ir para nordeste.

**Tabela 11: Quantidade de sedimento transportada em cada condição de mar e o transporte líquido para o setor03**

Condições de Mar		Vagas NE (16.9 %) Hs 2,2m	Ondulações S (27.3 %) Hs 4,5m	Ondulações SE (15.8 %) Hs 5,2m	Ondulações ENE (25.8 %) Hs 1,8m	Vagas S (8.6 %) Hs 2,3m
Transporte anual/condição de mar ( $\text{m}^3/\text{ano}/\text{m}$ )	Bruto p/ NE (+)	1,27	250167,04	569838,80	57,72	49,01
	Bruto p/ SW (-)	-1661,07	-157247,78	-31657,76	-1225,26	-0,49
	LÍQUIDO	-1659,80	92919,26	538181,04	-1167,53	48,52
Transporte anual ( $\text{m}^3/\text{ano}/\text{m}$ )	Bruto p/ NE TOTAL	820113,87				
	Bruto p/ SW TOTAL	-191792,37				
	LÍQUIDO	628321,49				

#### **6.3.4 SETOR 04**

O setor 04 (figura 76), na área que foi modelada apresenta comprimento de 20 km e sua direção é N30E, a direção da costa neste setor aumentou em relação ao setor anterior (Setor03). O setor 04 apresentou na malha computacional as seguintes características:

- Dimensão X (perpendicular à linha de costa) 18970 m ou 542 linhas;
- Dimensão Y (paralela à linha de costa) 20160 m ou 576 colunas

Uma questão ainda que precisa ser levantada é o aparecimento de um de correntes no inferior da malha, no qual é muito perceptível nos casos de ondulações do quadrante sul/sudeste. Isto pode ser explicado pela batimetria irregular (ou mesmo ausência de dados batimétricos mais confiáveis que permitisse um melhor interpolação de dados) nesta área e que gerou correntes de difícil análise por apresentar um comportamento difuso.

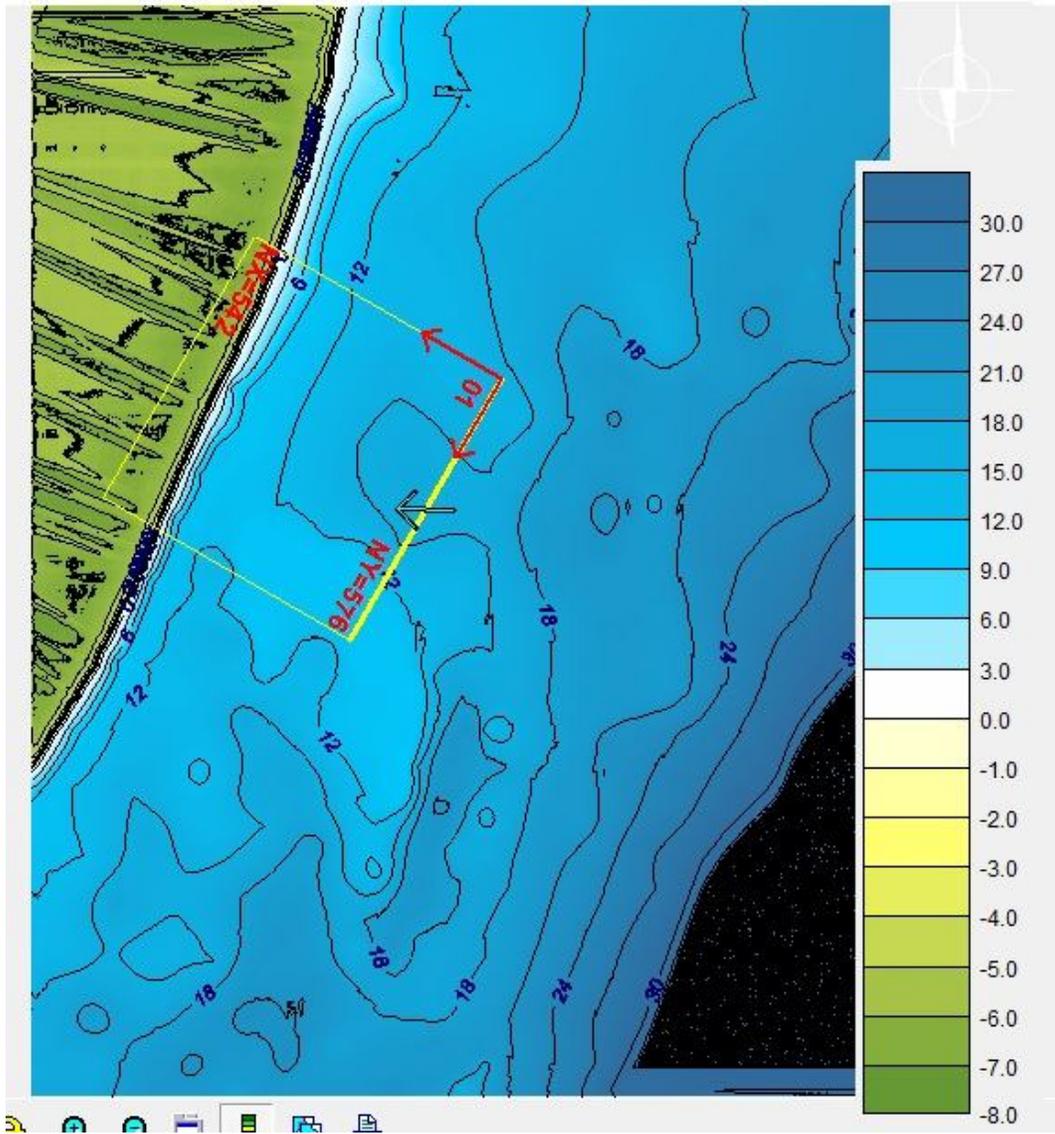
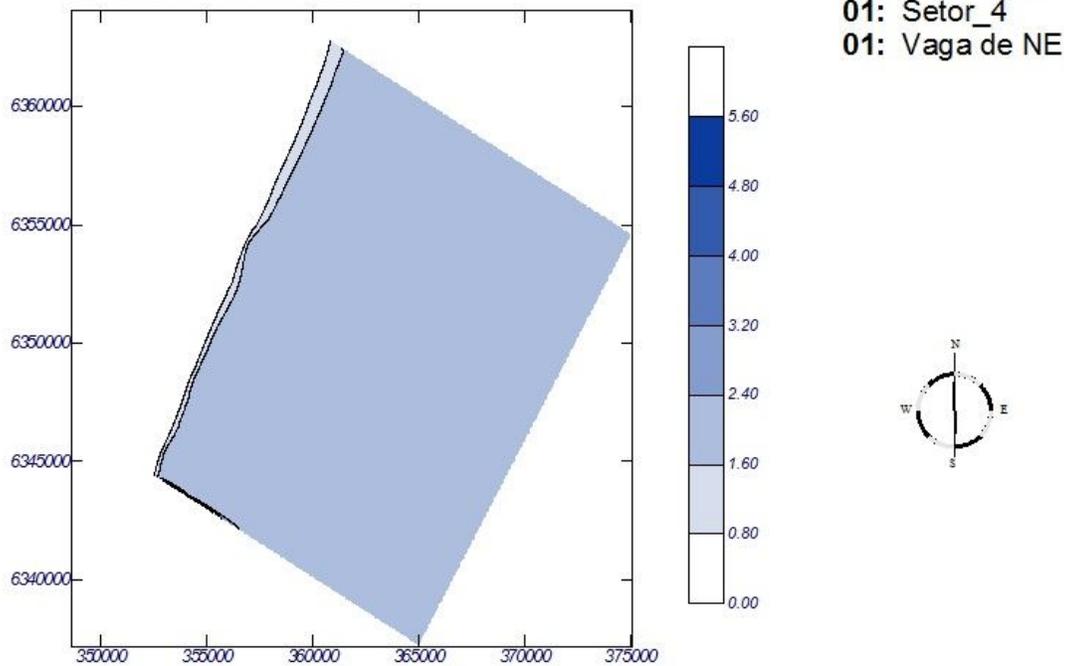


Figura 76 Setor 04

VAGAS DE NORDESTE

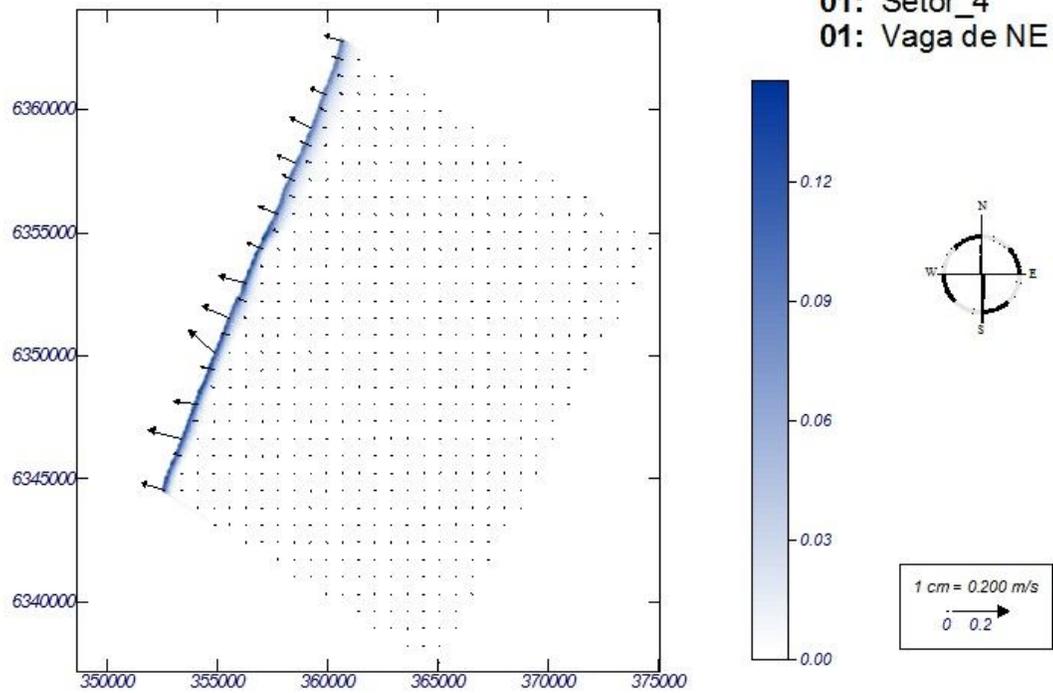
Graph: Significant wave height



**Figura 77** Altura significativa das ondas no setor 04/vagas NE

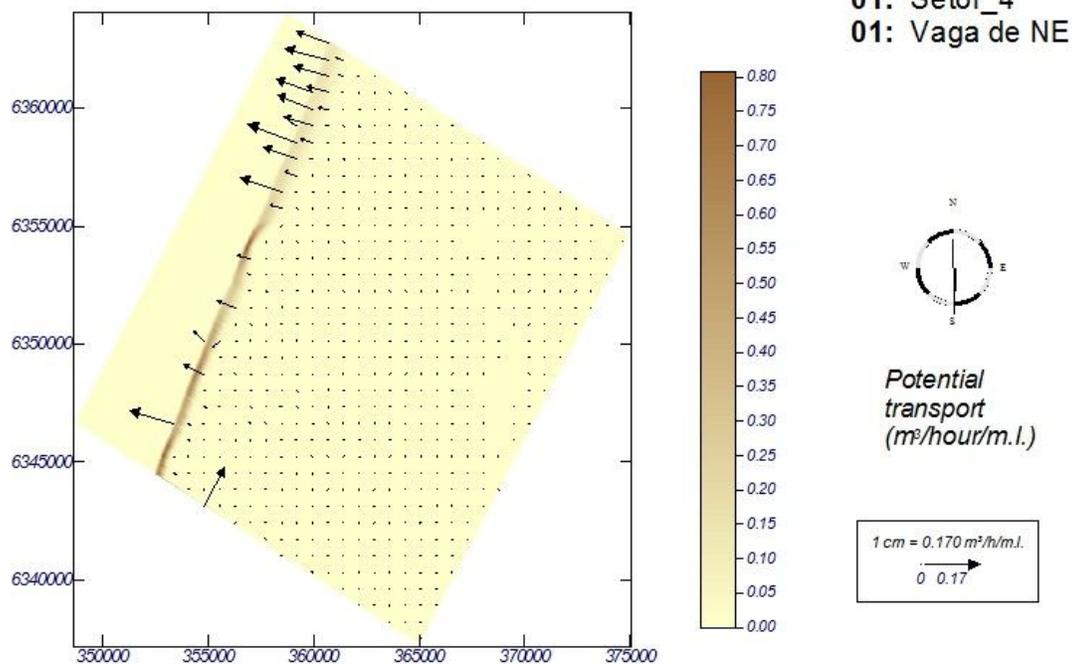
A vaga de NE como os demais casos de nordeste não apresentam sofrer grandes transformações de ondas ao longo de sua propagação, neste caso a onda, basicamente, acompanha o assoalho marinho até a linha de costa e incide frontalmente sobre a praia, como pode ser vista na figura 77.

Graph: Current vectors

**Figura 78 Correntes longitudinais no setor 04/vagas NE**

Em decorrência da maneira de como as ondas atacam o setor 04 neste *cluster*, a corrente longitudinal não apresenta grandes vetores de velocidade. Sua magnitude foi da ordem de 0,08 m/s e tendo uma suave tendência a deslocamento, em rumo, para sudoeste, conforme a figura 78.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

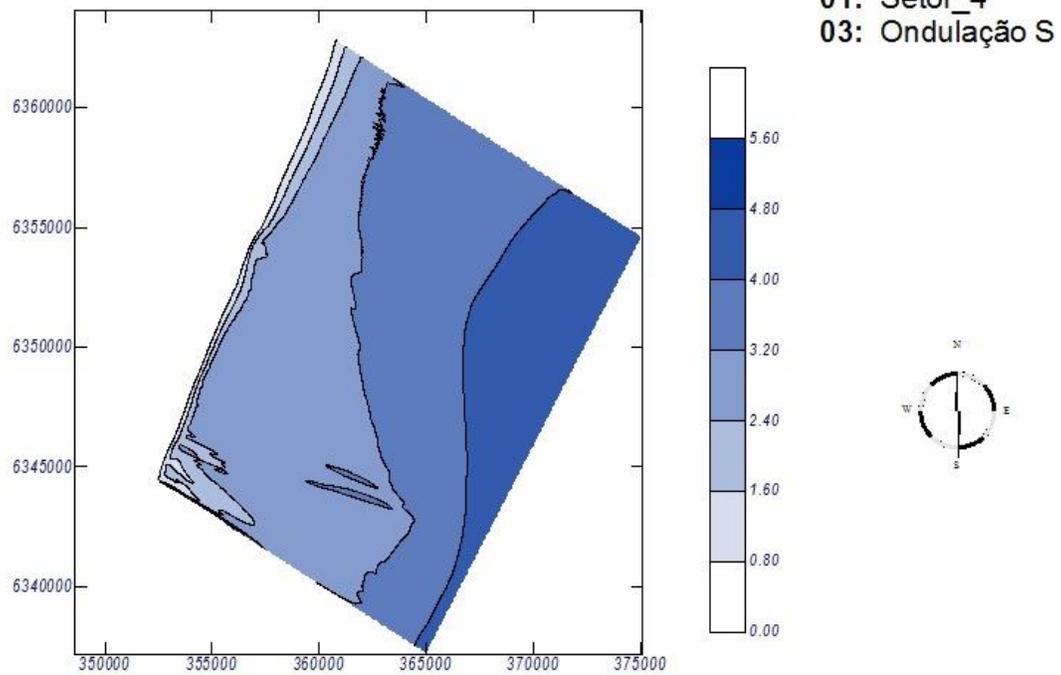


**Figura 79** Potencial do transporte sedimentar no setor 04/vagas NE

Conseqüentemente o transporte de areia deste setor neste caso não foi muito intenso ficando com o valor médio de 0,4 m<sup>3</sup>/h. Esse transporte pode vim alimentar, ainda que grande escala de tempo, o setor 05, já que foi para sudoeste. (figura 79).

## ONDULAÇÕES DE SUL

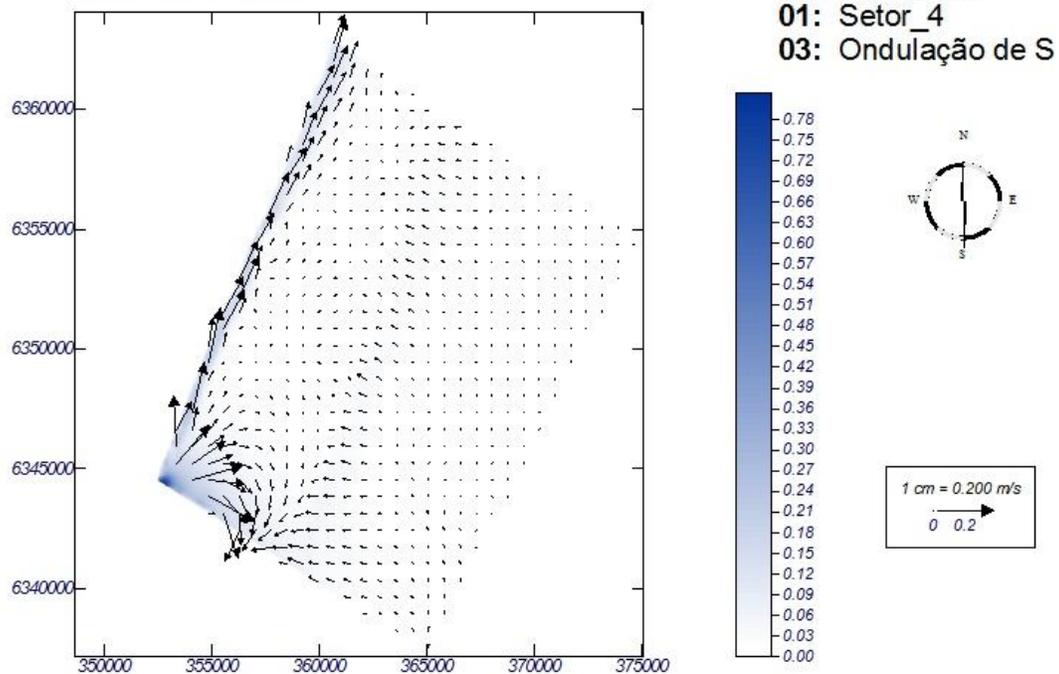
Graph: Significant wave height



**Figura 80** Altura significativa das ondas no setor 04/ondas S

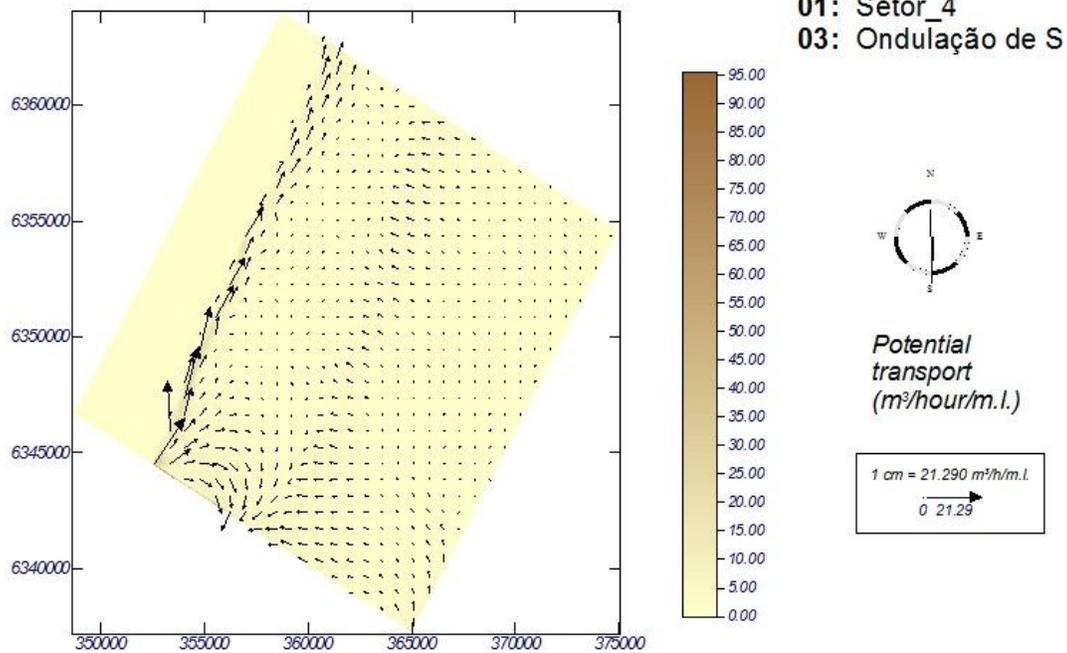
A Ondulação de S na malha computacional apresentou que a porção sul deste setor tem uma tendência a sofrer refração de modo mais acentuado que o restante da malha. Embora haja a propensão de formação da corrente longitudinal em toda a malha. Esta característica se deve a própria batimetria existente do lugar que propicia esta situação, como pode ser visualizada na figura 80.

Graph: Current vectors

**Figura 81 Correntes longitudinais no setor 04/ondas S**

A corrente gerada teve valor médio de 0,4 m/s indo em direção nordeste, este valor, pode-se dizer, que foi elevado quando comparado aos que já fora apresentados, pois está, por volta de 10 vezes maior que outros casos dos demais setores. (figura 81). Como mencionado anteriormente no início deste setor 04, há presença de campo de vetores correntes que tem comportamento difuso na parte inferior da figura 81 que provavelmente são decorrentes da batimetria.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

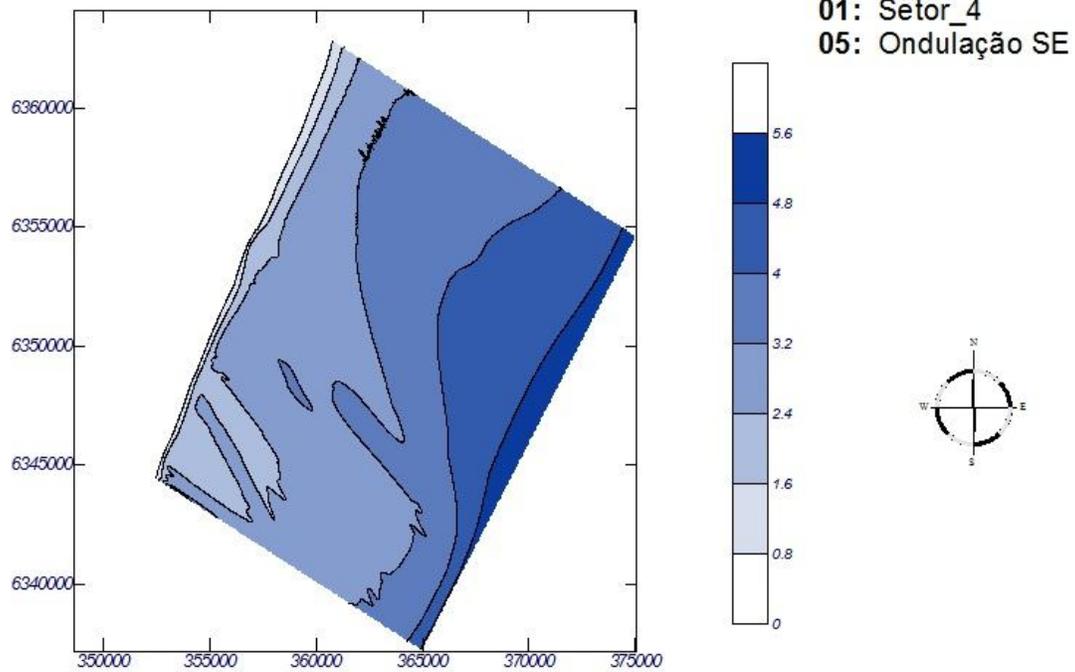


**Figura 82** Potencial do transporte sedimentar no setor 04/ondas S

Como era esperado, neste caso houve grande capacidade de transporte sedimentar em que o valor médio encontrado nesta situação foi de  $50 m^3/h$ . Valor significativo que dependendo da frequência ao longo do ano ou dos anos, pode vim a alterar a morfologia do lugar, a menos que haja reposição de sedimento vindo de outros setores tanto a sul como a norte. (figura 82).

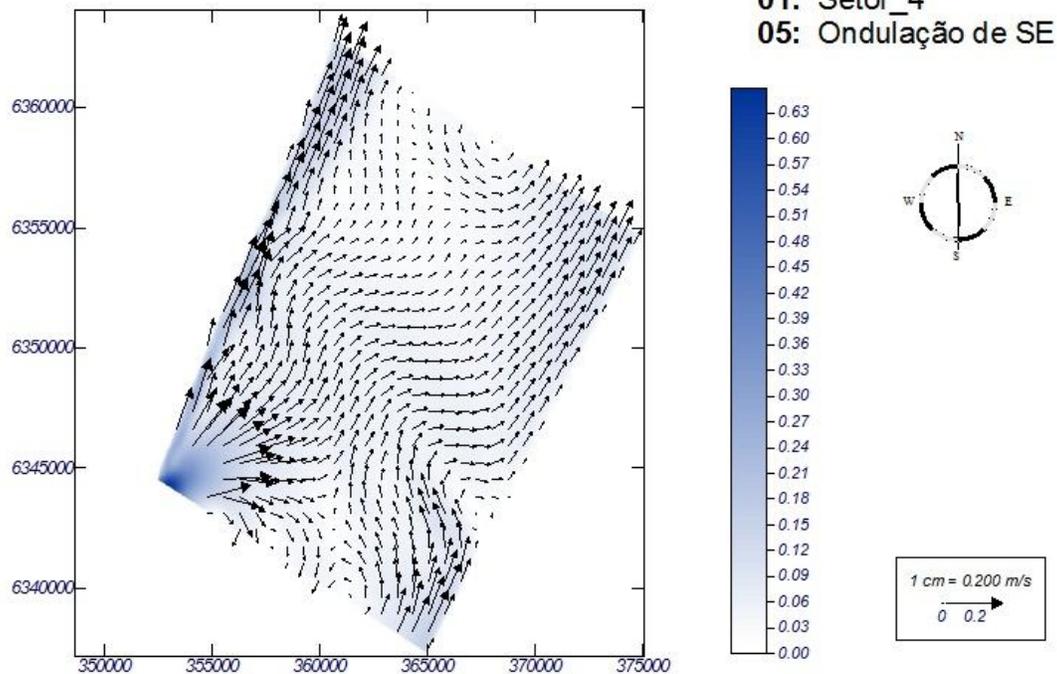
### **ONDULAÇÕES DE SUDESTE**

Graph: Significant wave height

**Figura 83** Altura significativa das ondas no setor 04/ondulação SE

Este caso é semelhante ao anterior, isto é, a porção sul da malha computacional identificou que há processo de refração mais significativo que o restante da malha. Mas de modo geral, a corrente é formada pelas mesmas razões que outrora já foram mencionadas, como a incidência oblíqua das ondas, como pode ser visualizada na figura 83.

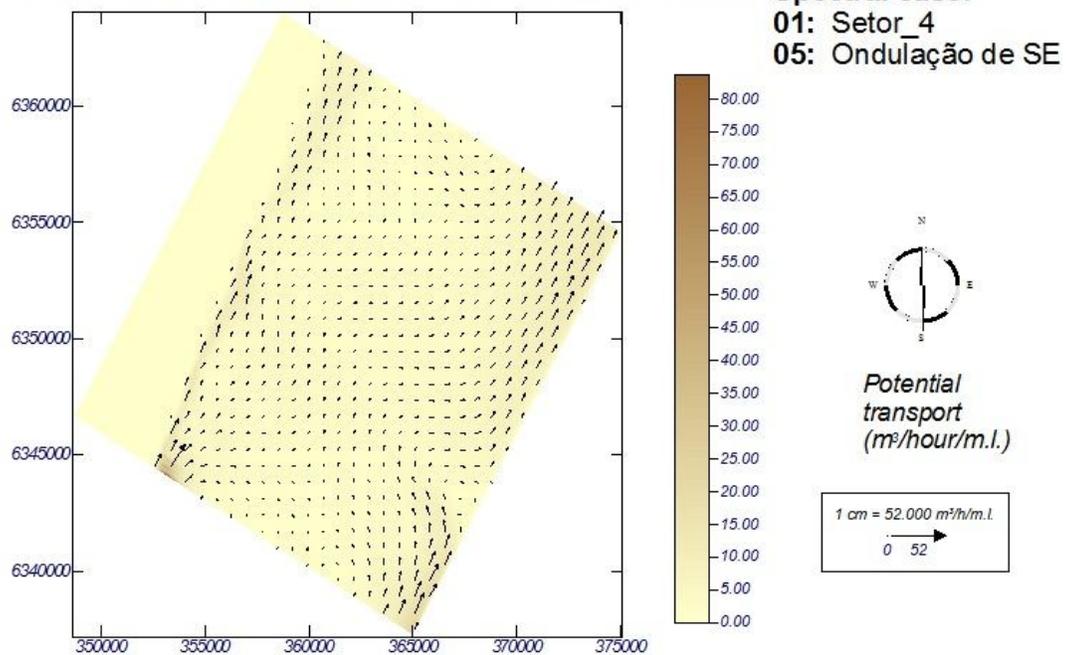
Graph: Current vectors



**Figura 84 Correntes longitudinais no setor 04/ondulação SE**

A corrente neste caso também foi intensa, algo natural quando decorremos sobre ondas do quadrante sul/sudeste. Este valor foi, em torno, de 0,32 m/s e percebe-se que seu sentido foi para nordeste, observada na figura 84. Como mencionado no início da seção do setor 04, muito provavelmente a parte inferior da malha computacional pode apresentar um erro batimétrico (ausência de dados mais confiáveis) e isto gerou um campo de correntes mais espalhados na malha, apesar de haver a possibilidade de a batimetria ser, de fato, irregular. Entretanto, a questão batimétrica não somente neste setor como nos demais mostrou ser uma das limitações de uso para o SMC e que pode contribuir negativamente para o desempenho do modelo, uma vez que o cálculo numérico pode estar computando com valores de input equivocados.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

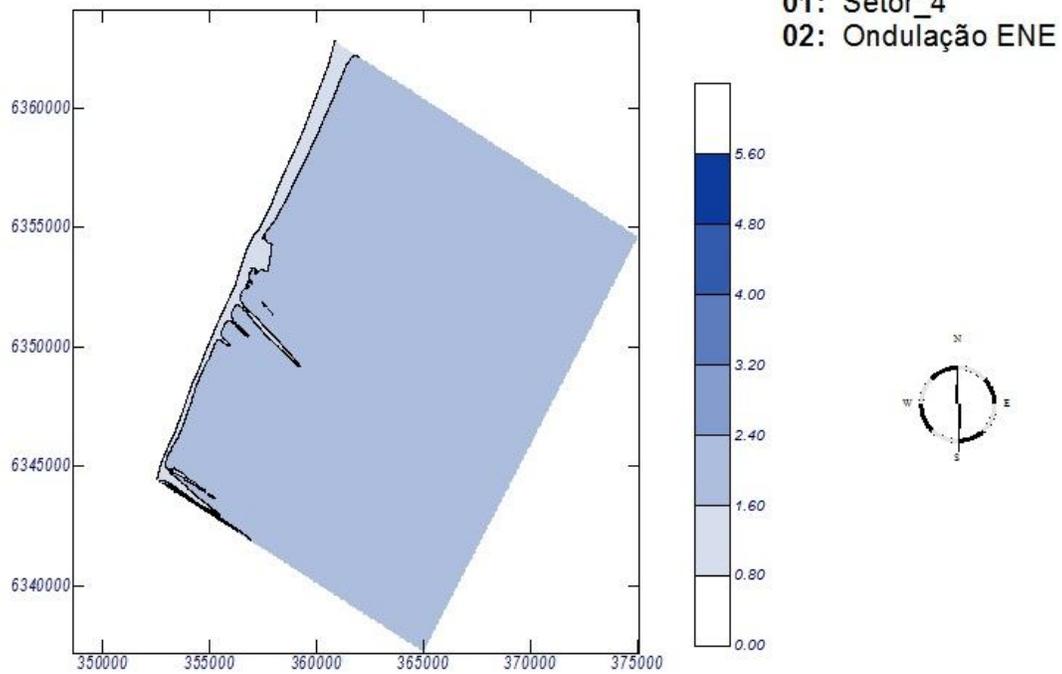


**Figura 85 Potencial do transporte sedimentar no setor 04/ondulação SE**

A ondulação de SE teve grande valor da taxa de potencial de transporte, com 40  $m^3/h$  este valor representa que alterações na morfologia da costa podem ocorrer, embora não se pode negligenciar o fluxo oriundo dos demais setores como o Setor 03 e 05. (figura 85).

## **ONDULAÇÕES DE LESTE-NORDESTE**

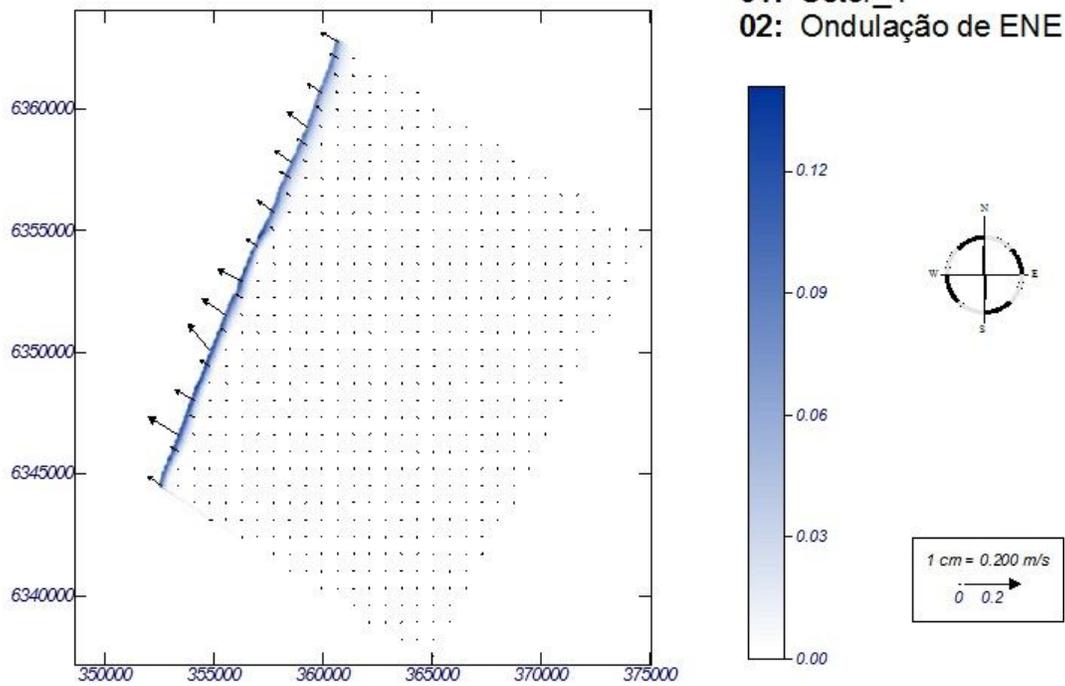
Graph: Significant wave height



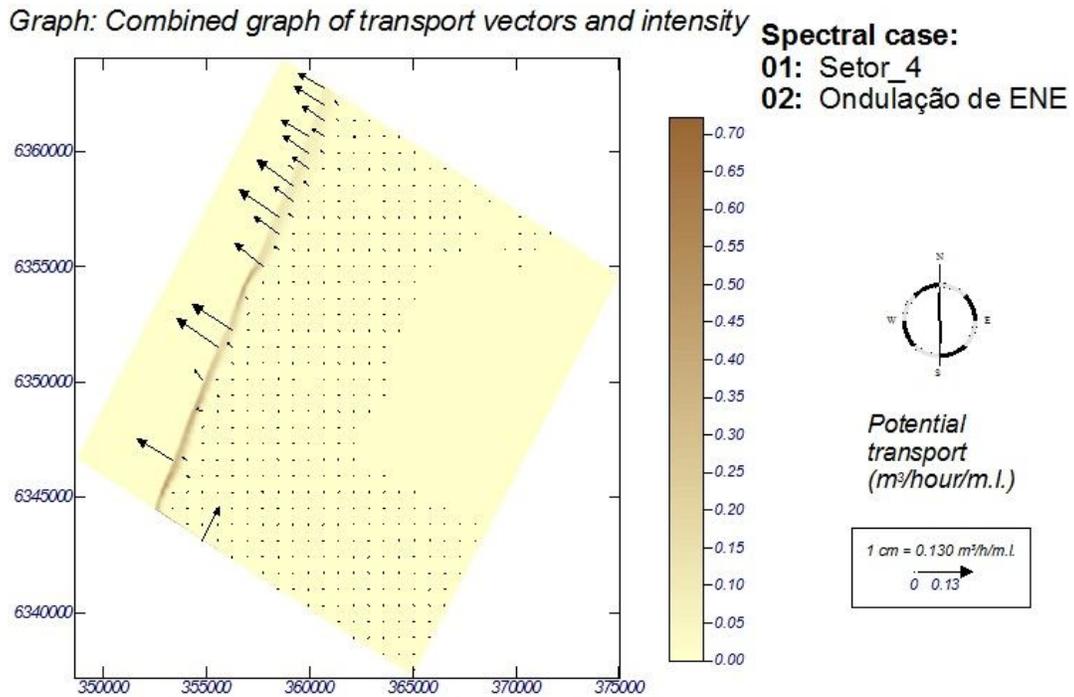
**Figura 86** Altura significativa das ondas no setor 04/ondulação ENE

A ondulação, em questão, não apresentou processo de refração intensa, com exceção da porção sul da malha, em que, neste lugar a batimetria favorece a isso, como pode ser observada na figura 86.

Graph: Current vectors

**Figura 87 Correntes longitudinais no setor 04/ondulação ENE**

A corrente longitudinal formada apresentou pequeno valor de intensidade (velocidade média, em torno, de 0,07 m/s) isto é, de certa forma, esperado devido à pequena quantidade de energia envolvido no caso e a incidência quase normal à costa. (figura 87).

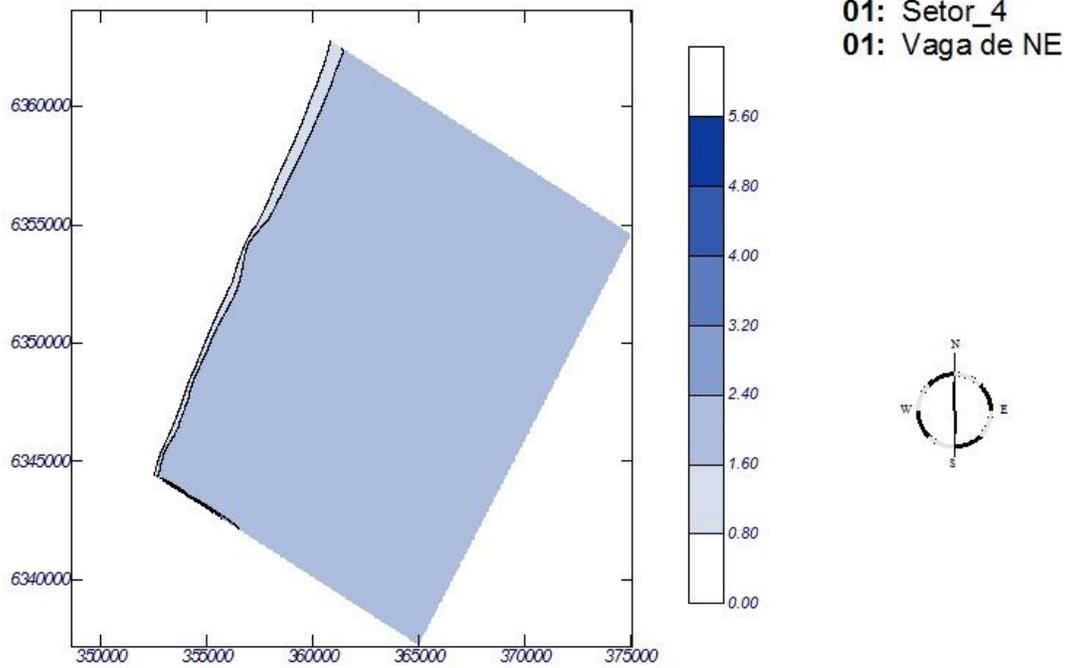


**Figura 88 Potencial do transporte sedimentar no setor 04/ondulação ENE**

Diante do exposto o valor de transporte de areia ficou em torno de  $0,35m^3/h$  para sudoeste (figura 88), isto é, valor discreto quando comparado as Ondulações de S/SE que parecem determinar o transporte sedimentar no setor04.

## VAGAS DE SUL

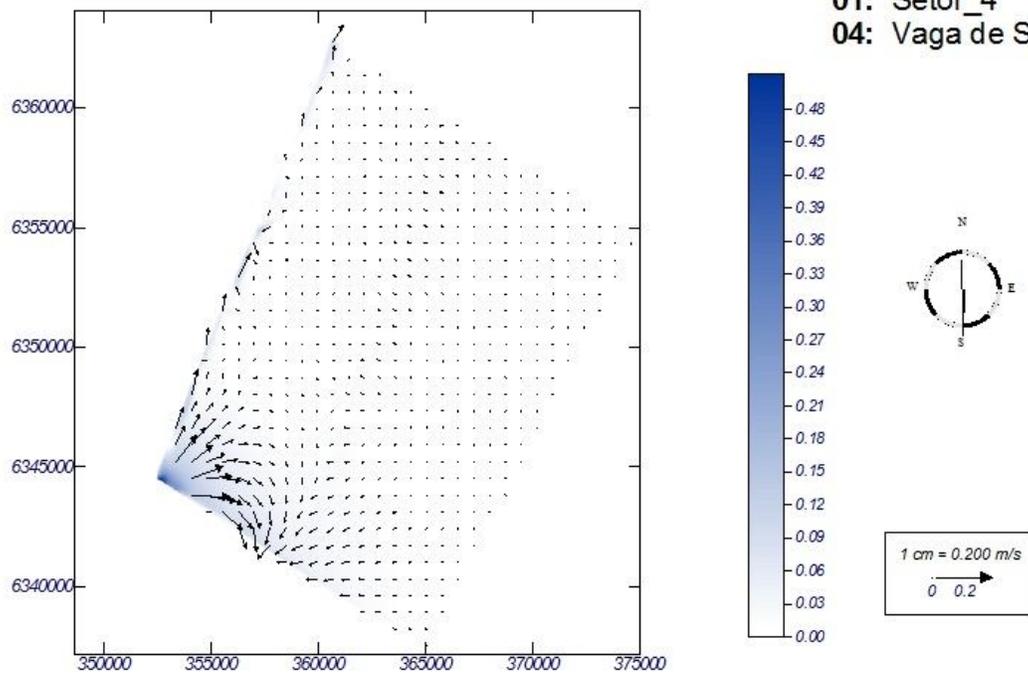
Graph: Significant wave height



**Figura 89** Altura significativa das ondas no setor 04/vagas S

A Vaga de S apresentou grande processo de refração na porção sul da malha, onde as isolinhas da altura de onda decaem bruscamente (figura 89). Todavia não se pode esperar grande velocidade de corrente devido sua baixa energia.

Graph: Current vectors



**Figura 90** Correntes longitudinais no setor 04/vagas S

A corrente deste caso teve valor, em torno, de 0,09 m/s e partiu rumo a nordeste. A corrente parece ser formar mais ao sul da malha e é devido à obliquidade da onda e a batimetria do lugar, mas de modo geral do setor, a velocidade é pequena, como pode ser vista na figura 90.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

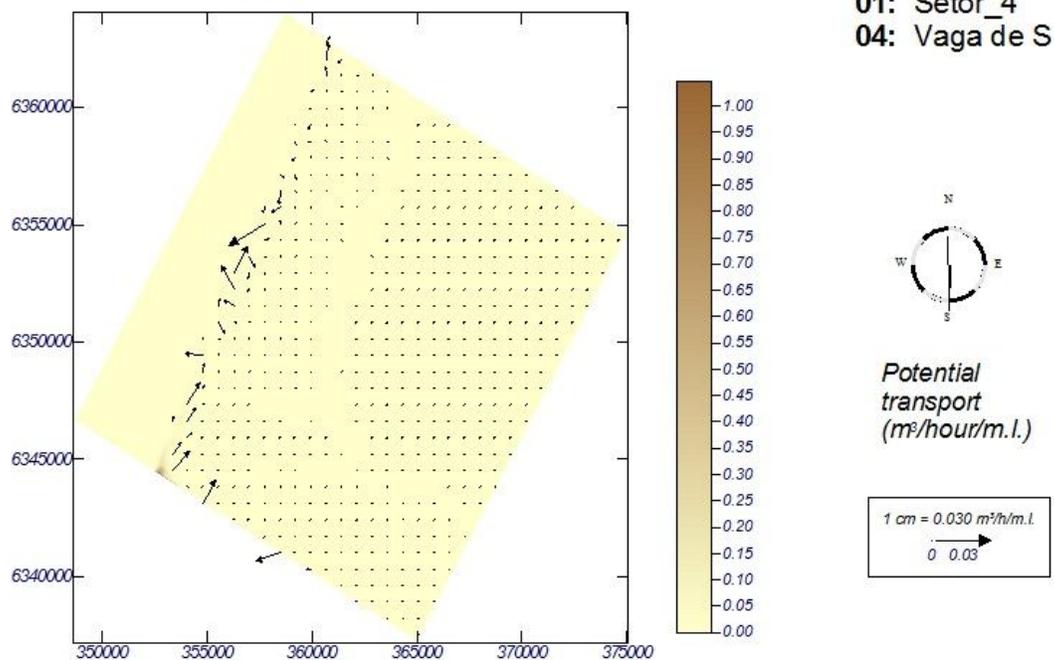


Figura 91 Potencial do transporte sedimentar no setor 04/vagas S

O valor de transporte, como era esperado, foi de 0,40m<sup>3</sup>/h (figura 91), ou seja, o caso de Ondulação de SE (segundo maior potencial) apresenta 1 dezena superior a este caso, mostrando que a Vaga de S não transfere muito sedimento para o setor 03.

A tabela 12 abaixo mostra, de forma sintética, o quanto cada condição de mar transporta ao longo de um ano. Além disso, apresenta o valor líquido deste transporte no Setor04 que teve sentido positivo (+) que representa ir para nordeste.

**Tabela 12: Quantidade de sedimento transportada em cada condição de mar e o transporte líquido para o setor04**

Condições de Mar		Vagas NE (16.9 %) Hs 2,2m	Ondulações S (27.3 %) Hs 4,5m	Ondulações SE (15.8 %) Hs 5,2m	Ondulações ENE (25.8 %) Hs 1,8m	Vagas S (8.6 %) Hs 2,3m
Transporte anual/condição de mar (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE (+)	87,55	455634,78	1104802,35	1412,24	134,72
	Bruto p/ SW (-)	-3326,09	-343361,98	-31237,59	-1474,29	-19,58
	LÍQUIDO	-3238,54	112272,79	1073564,76	-62,05	115,13
Transporte anual (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE TOTAL	1562071,66				
	Bruto p/ SW TOTAL	-379419,55				
	LÍQUIDO	1182652,10				

### 6.3.5 SETOR 05

O setor 05 (figura 92), na área que foi modelada apresenta comprimento de 20 km e sua direção é N42,24E, a direção da costa neste setor aumentou em relação ao setor anterior (Setor04). O setor 05 apresentou na malha computacional as seguintes características:

- Dimensão X (perpendicular à linha de costa) 13720 m ou 392 linhas;
- Dimensão Y (paralela à linha de costa) 21000 m ou 600 colunas

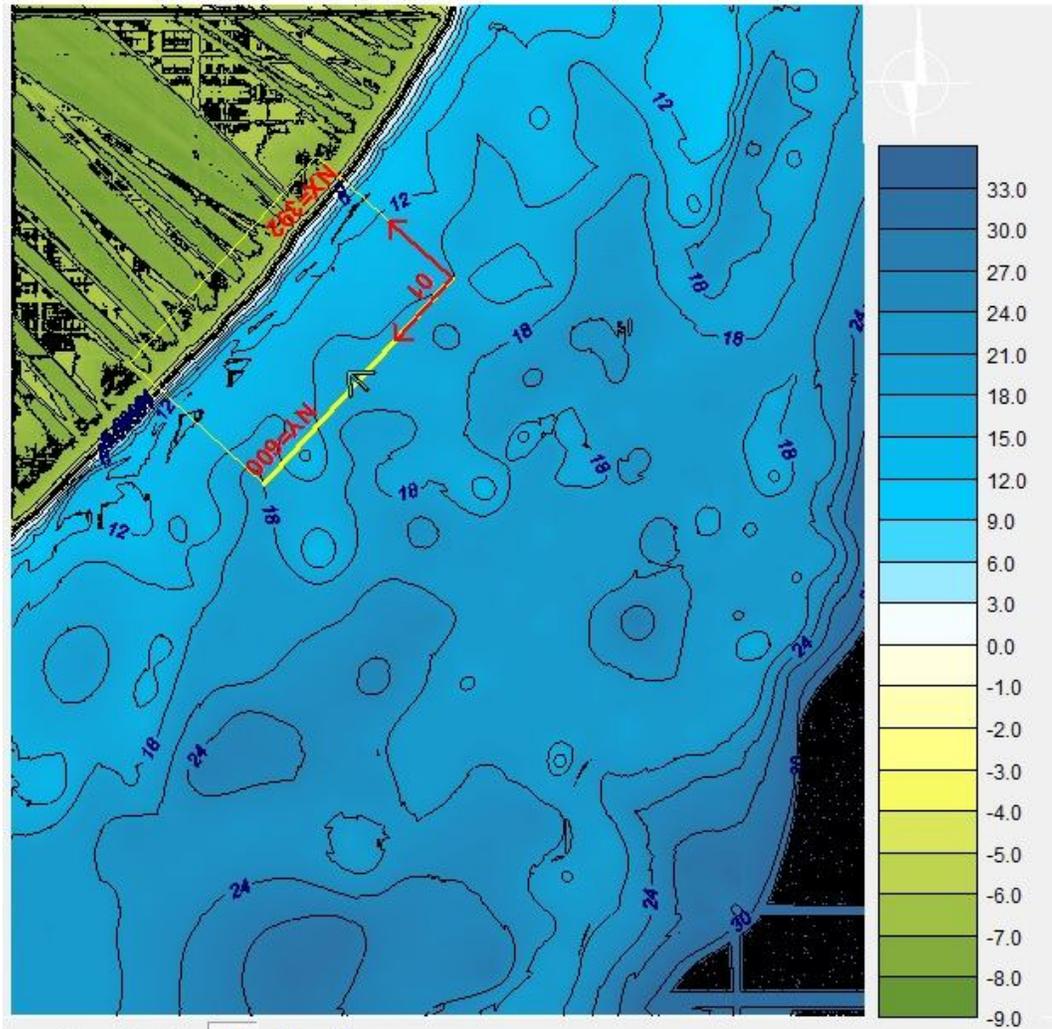
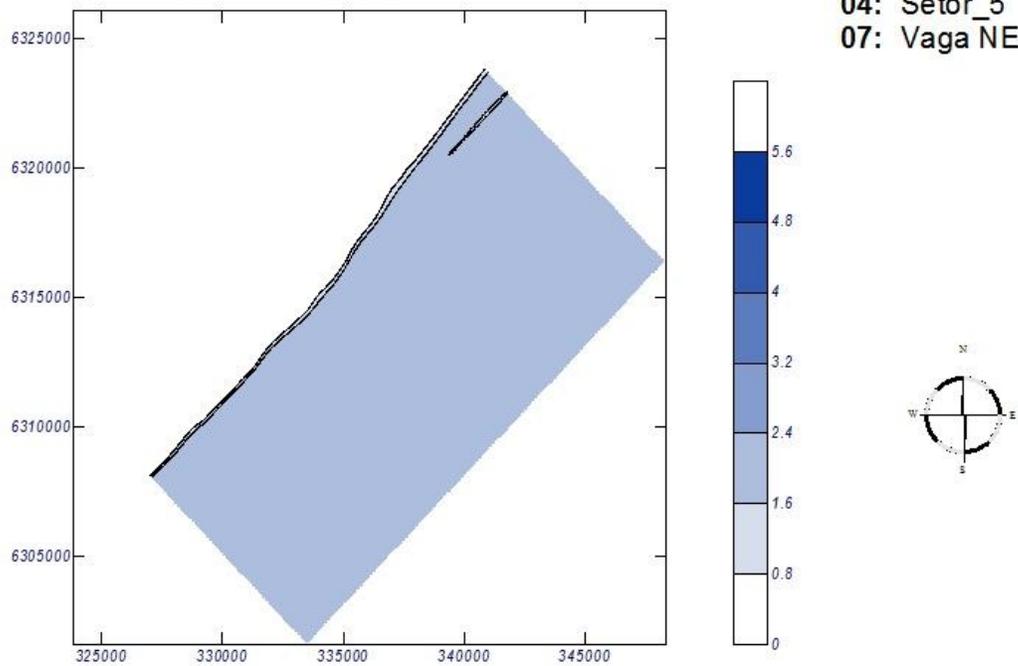


Figura 92 Setor 05

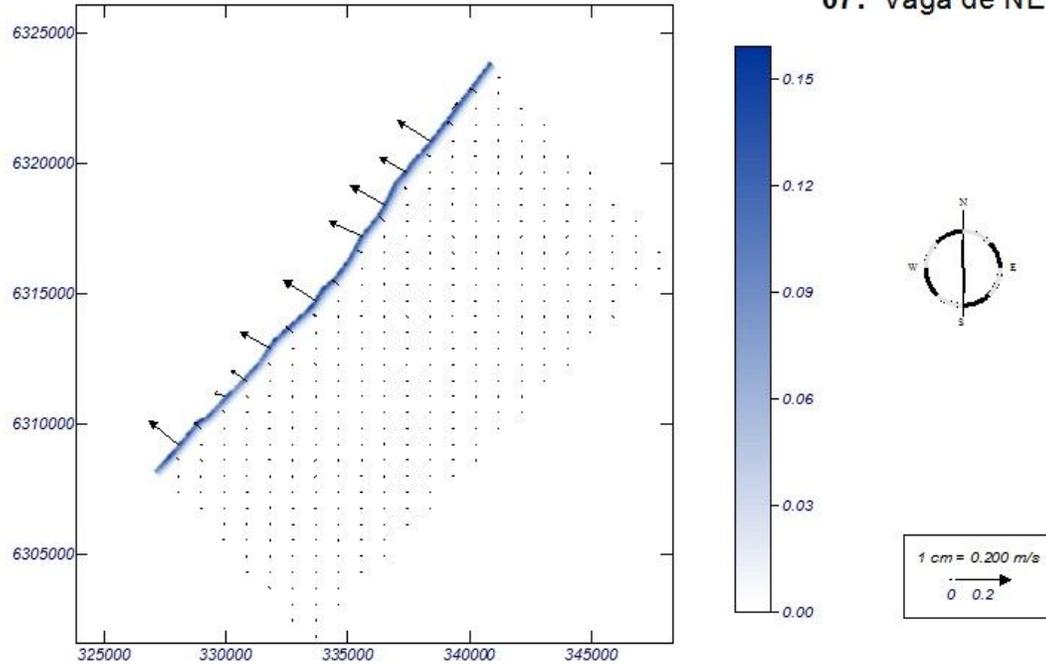
VAGAS DE NORDESTE

Graph: Significant wave height

**Figura 93** Altura significativa das ondas no setor 05/vagas NE

A vaga de NE pareceu não sofreu processo de refração de maneira acentuada, pois a onda teve uma trajetória de ir dissipando energia até próxima a praia. Isto pode ser observado pela figura 93, no qual a altura de onda é praticamente a mesma em toda a malha computacional. Isto pode ser justificado por uma possível uniformidade da batimetria local.

Graph: Current vectors

**Figura 94 Correntes longitudinais no setor 05/vagas NE**

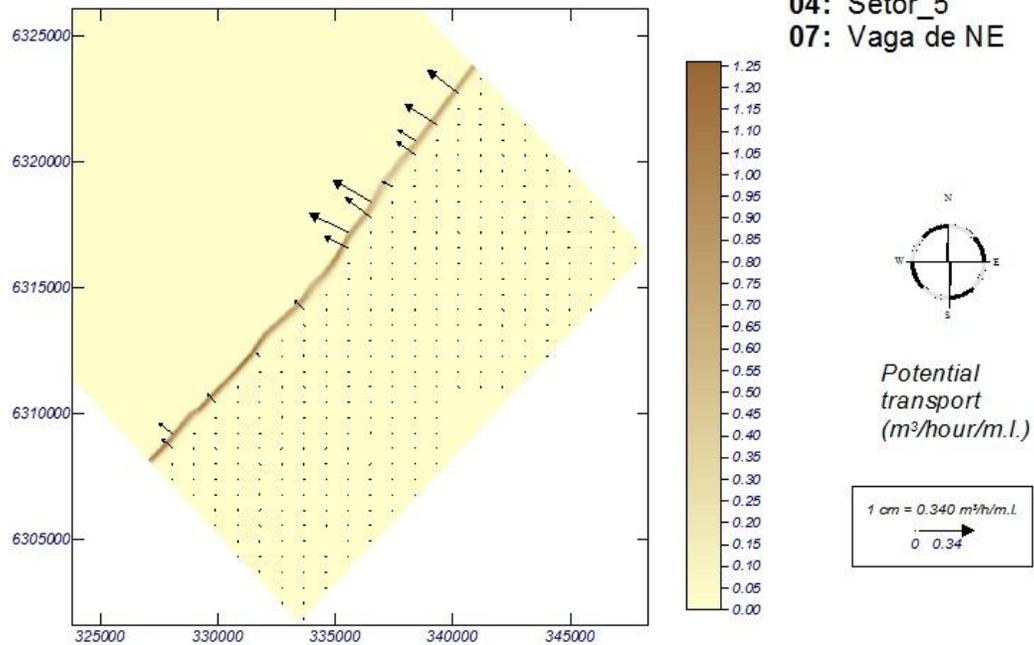
Com a conseqüente arrebentação de onda próxima a linha de costa, a corrente formada é levemente orientada no sentido sudoeste e apresentou velocidade de 0,08 m/s, conforme a figura 94.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

Spectral case: 0407

04: Setor\_5

07: Vaga de NE

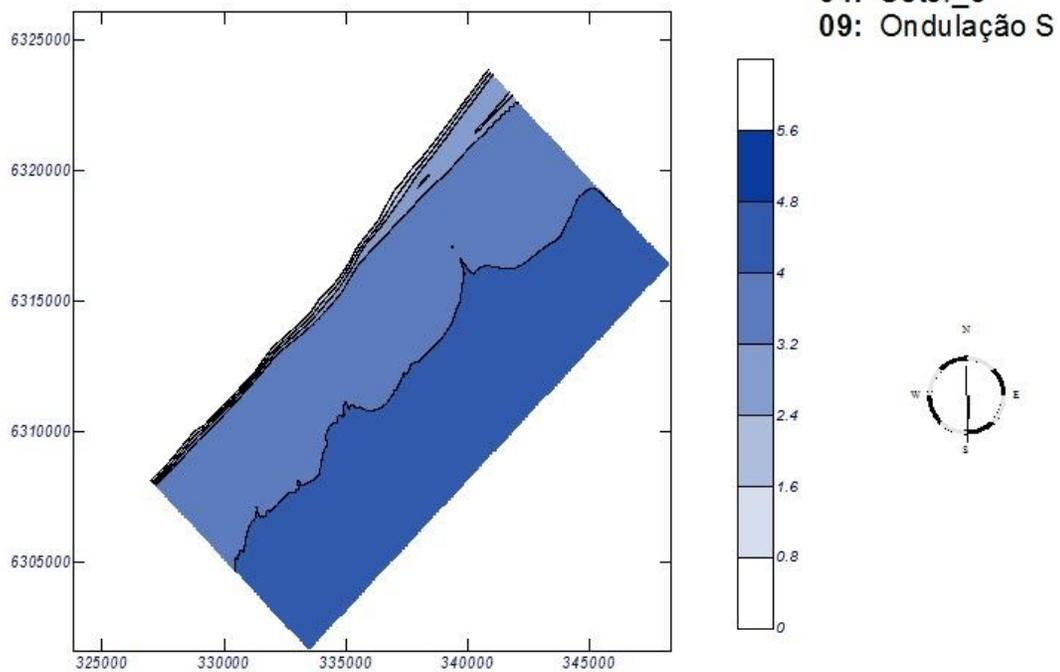


**Figura 95 Potencial do transporte sedimentar no setor 05/vagas NE**

O transporte que é dependente da corrente longitudinal, conseqüentemente também foi pequeno, cujo seu valor foi, em torno, de 0,65 m<sup>3</sup>/h, como pode ser visto na figura 95.

## ONDULAÇÕES DE SUL

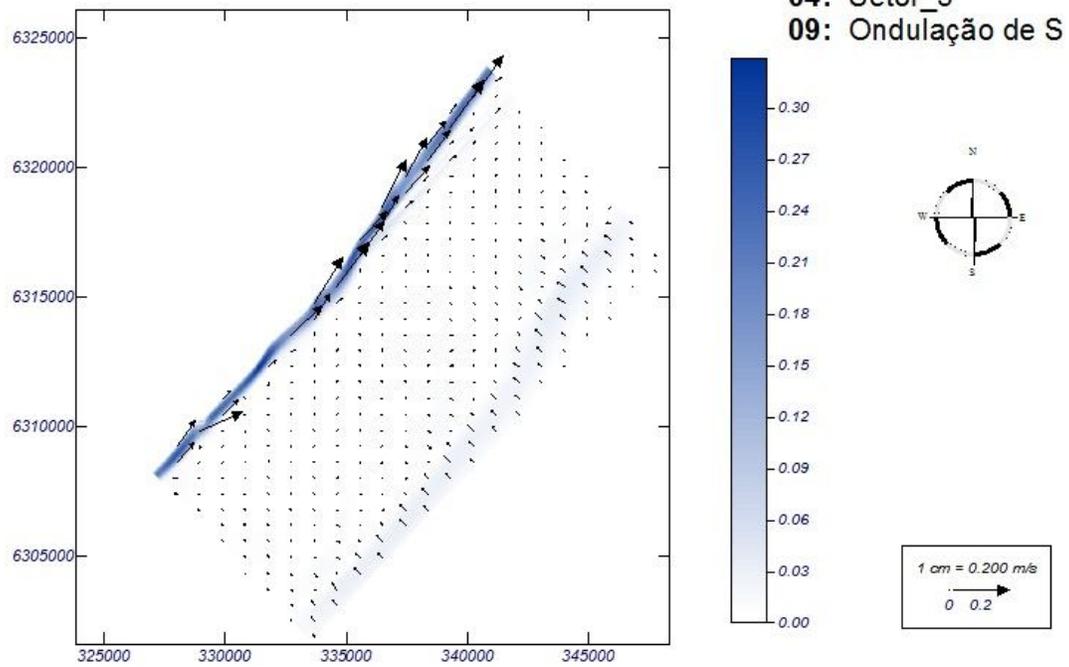
Graph: Significant wave height



**Figura 96** Altura significativa das ondas no setor 05/ondas S

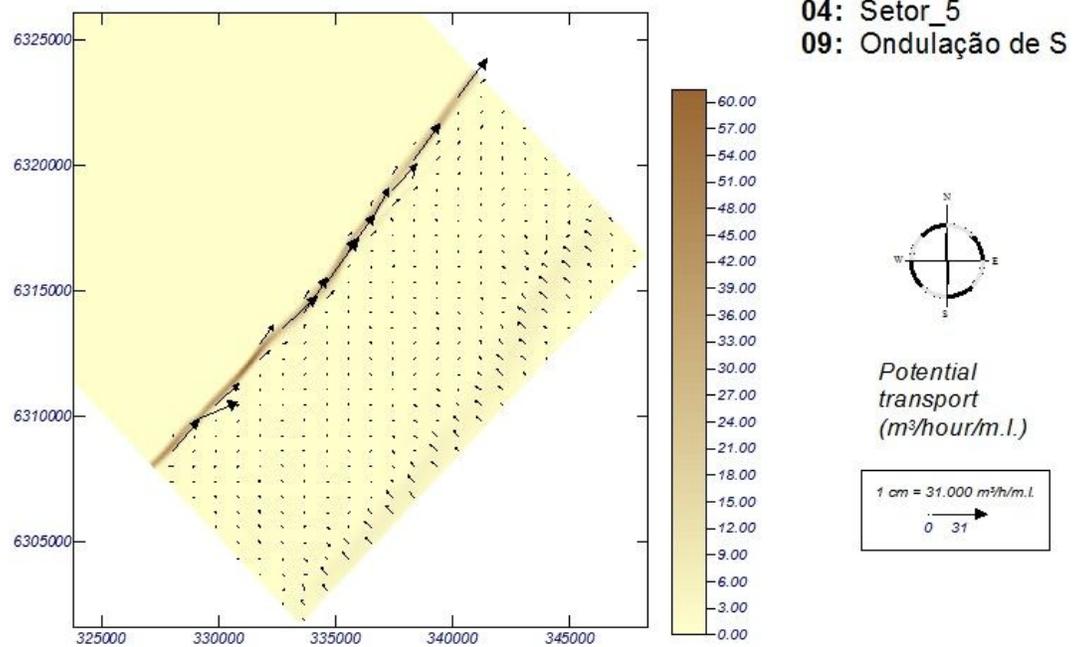
Esta Ondulação convergiu para refração acentuada na porção sul da malha computacional e formar intensamente a corrente longitudinal. Isto se deve a incidência oblíqua sobre a costa e também a onda do tipo Swell que, invariavelmente, apresenta grande quantidade de energia associada em seu espectro de frequência. (figura 96).

Graph: Current vectors

**Figura 97 Correntes longitudinais no setor 05/ondas S**

A corrente formada ficou próxima a batimétricas rasas e apresentou valor de 0,16 m/s indo para nordeste, de acordo com a visualização da figura 97.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

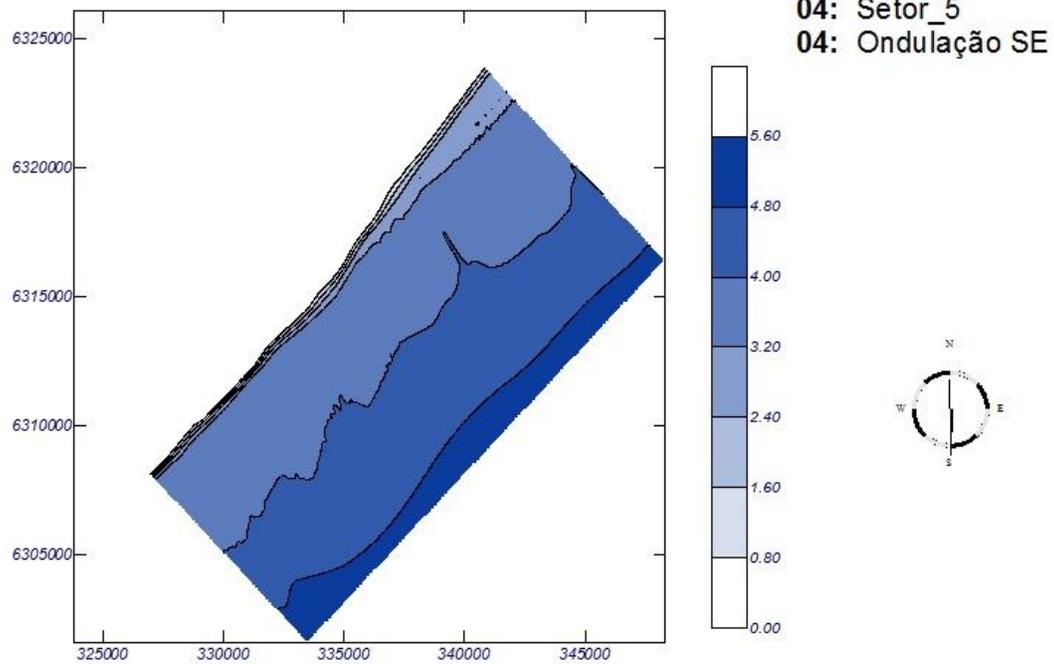


**Figura 98** Potencial do transporte sedimentar no setor 05/ondas S

O transporte de areia neste caso teve um valor de  $30 m^3/h$  (maior potencial de transporte), representando uma taxa significativa para os setores próximos no sentido sudoeste, pois o transporte tende a alimentar estes lugares, conforme a figura 98.

### **ONDULAÇÕES DE SUDESTE**

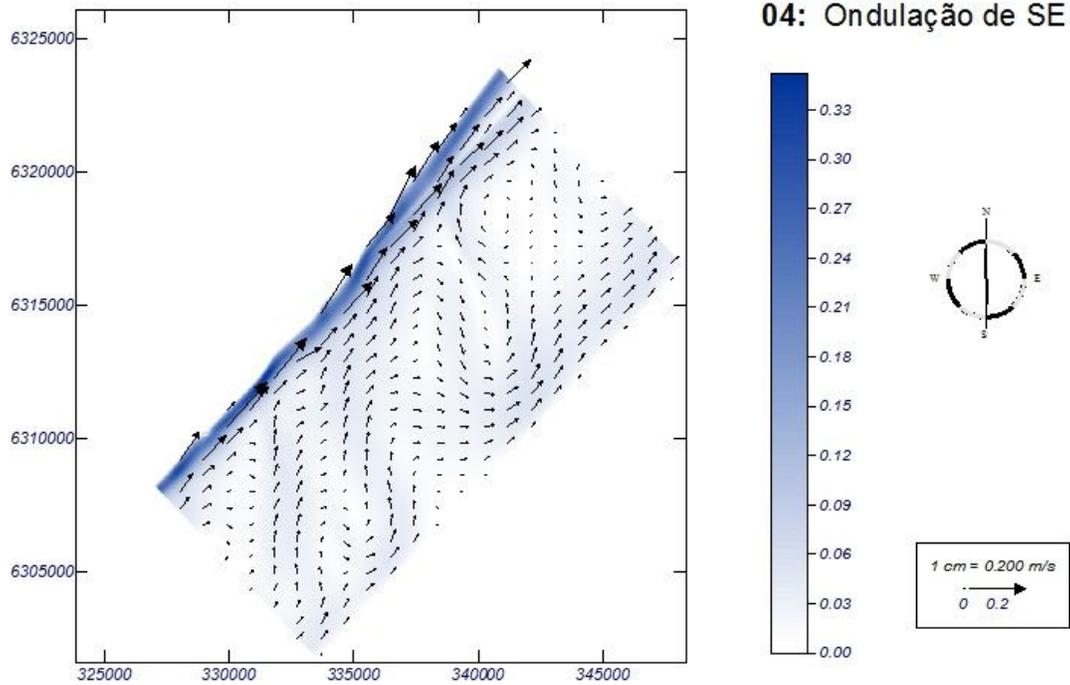
Graph: Significant wave height



**Figura 99** Altura significativa das ondas no setor 05/ondulação SE

Ondulação com grande quantidade de energia que sobre o setor 05 apresentou grande processo de refração de ondas e contribuiu para formação da corrente longitudinal, analogamente ao caso anterior, como pode ser vista na figura 99.

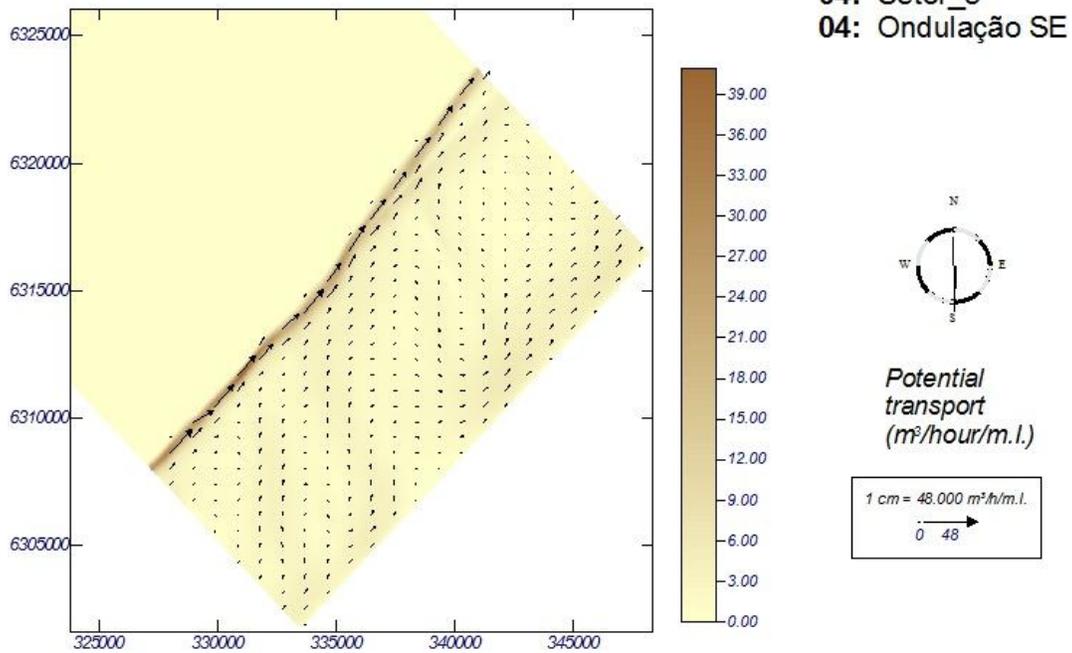
Graph: Current vectors



**Figura 100 Correntes longitudinais no setor 05/ondulação SE**

A corrente foi formada próxima a linha de costa e apresentou valores do vetor velocidade, em torno, de 0,18 m/s, de acordo com a figura 100. Esta corrente teve sentido sudoeste e contribuiu expressivamente para o transporte sedimentar.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

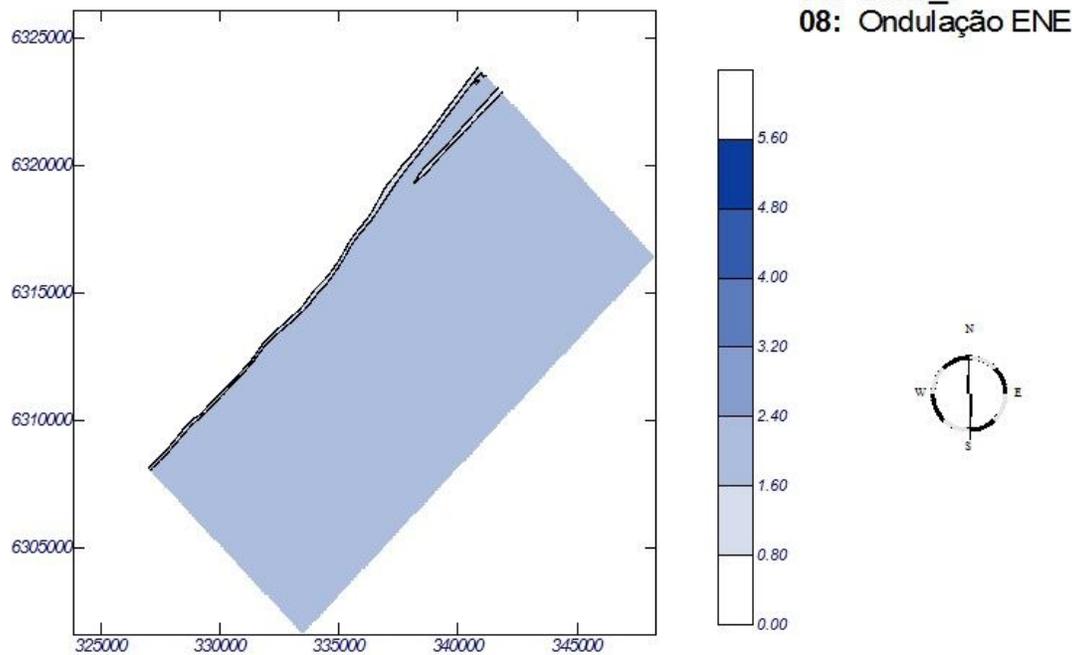


**Figura 101** Potencial do transporte sedimentar no setor 05/ondulação SE

O transporte teve um potencial por volta de 20 m<sup>3</sup>/h e mostrou ser um valor não desprezível, pois esta quantidade ao longo do tempo pode representar mudanças costeiras, de acordo com a figura 101.

## ONDULAÇÕES DE LESTE-NORDESTE

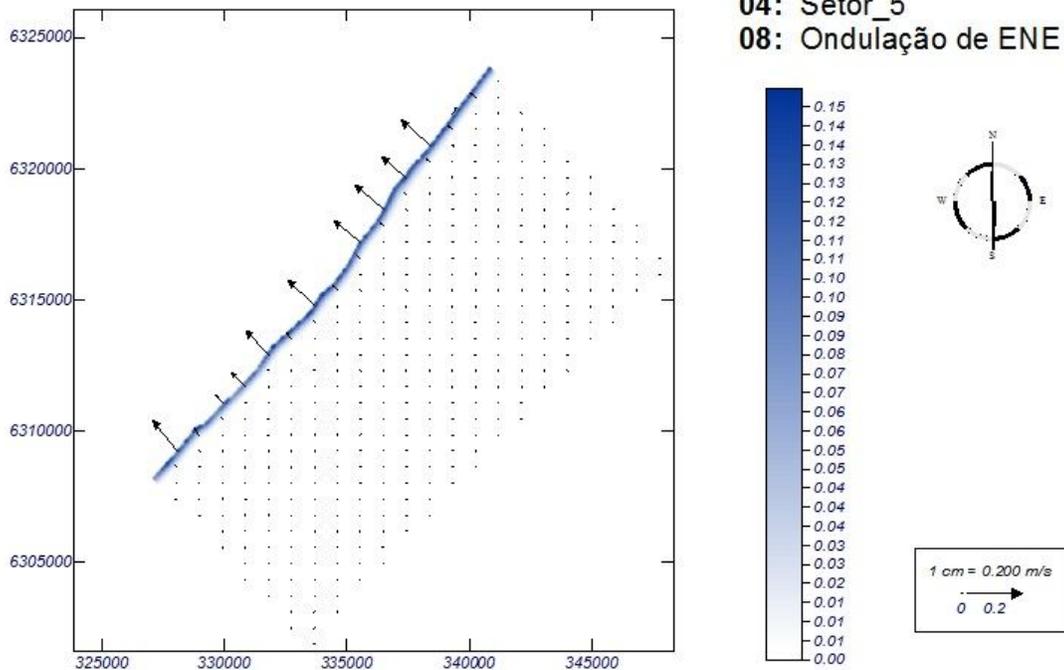
Graph: Significant wave height



**Figura 102** Altura significativa das ondas no setor 05/ondulação ENE

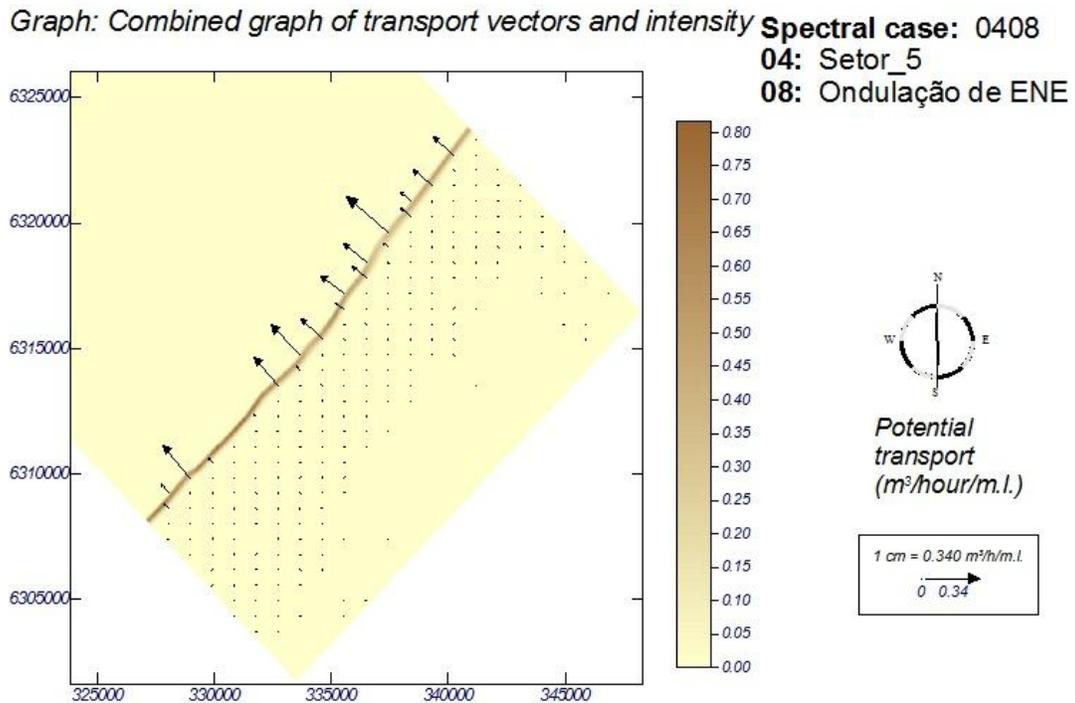
O trem de ondas neste *cluster* não mostrou acontecer praticamente nada, as ondas se deslocam rumo à praia apenas dissipando a energia, que também não é significativa, de acordo com a figura 102. Esta característica forma corrente muito a beira da praia.

Graph: Current vectors



**Figura 103 Correntes longitudinais no setor 05/ondulação ENE**

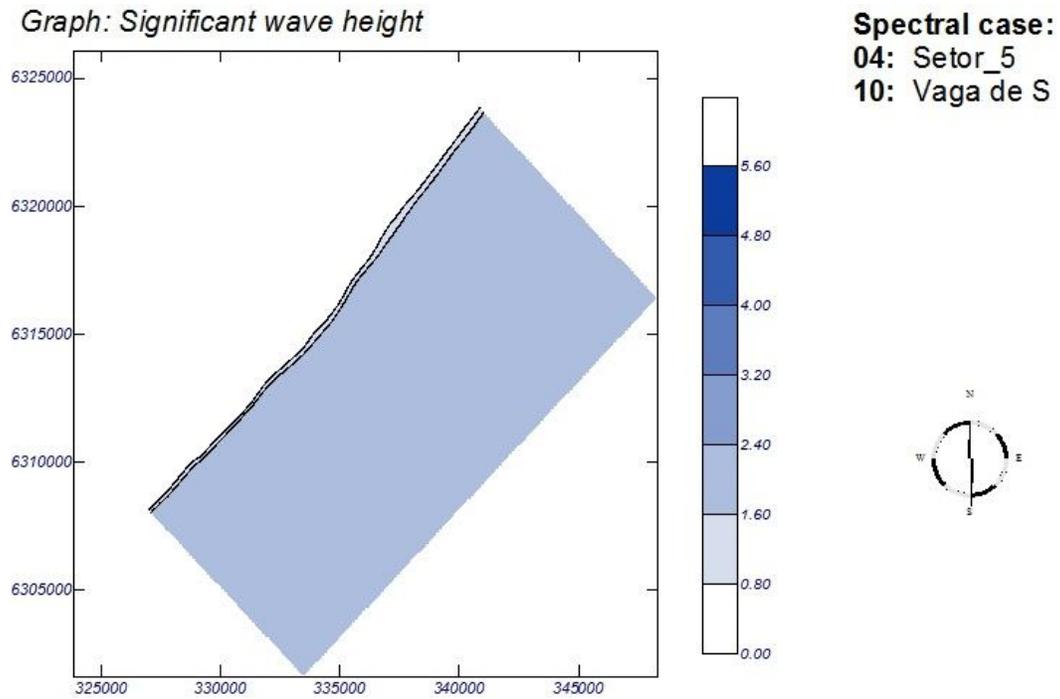
A magnitude dos vetores correntes formado nessas condições expressam valores pequenos como é este caso, no qual foi de 0,07 m/s, visualizada na figura 103. O sentido da corrente é suavemente para sudoeste.



**Figura 104** Potencial do transporte sedimentar no setor 05/ondulação ENE

O potencial de transporte de areia foi de  $0,40 m^3/h$  (figura 104), considerado um valor pequeno diante dos diversos valores expressos aqui neste trabalho. Isto é esperado, pois ondas do quadrante NE/L não apresentam grande quantidade de transporte.

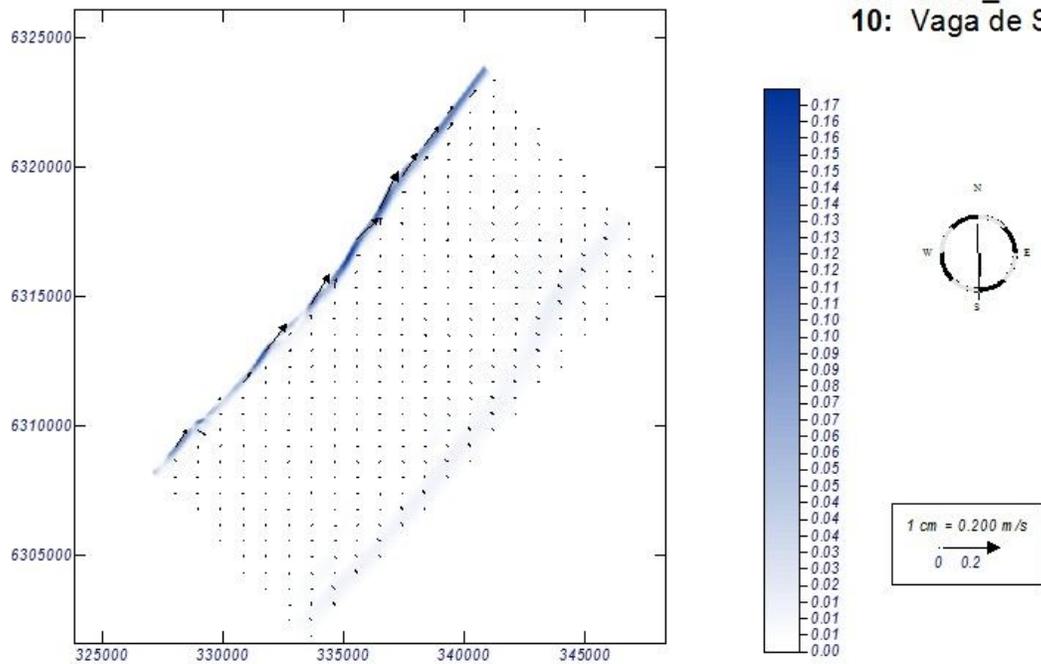
## VAGAS DE SUL



**Figura 105** Altura significativa das ondas no setor 05/vagas S

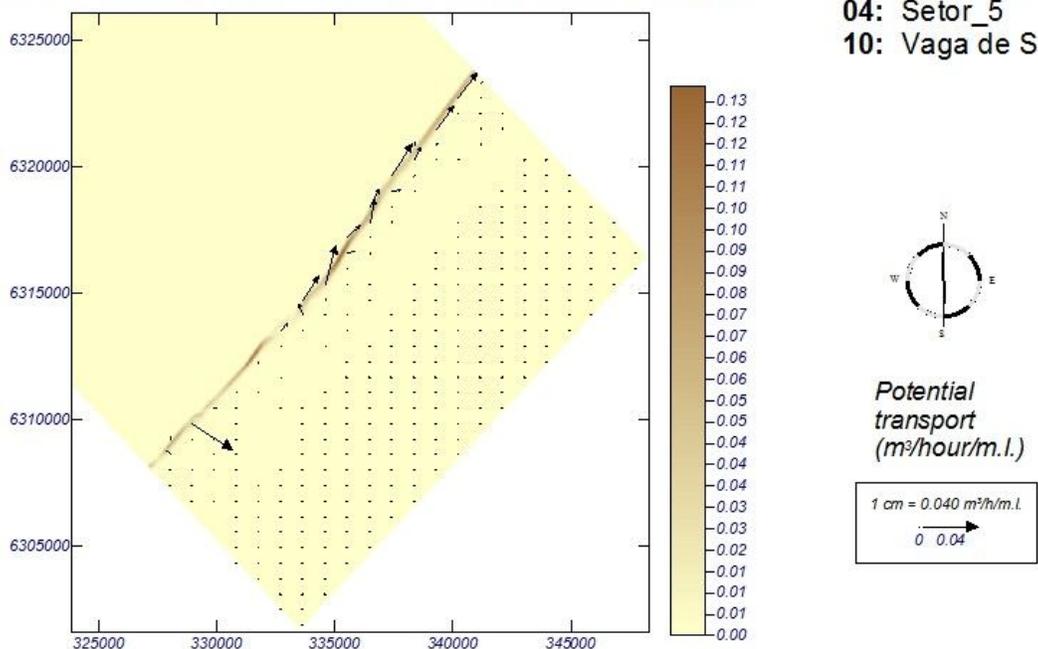
O fato de mudar a direção de propagação das ondas, embora não apresentem grande quantidade de energia como é o caso, em questão, propiciar a formação de correntes mais bem definidas, mas sem grande capacidade de transporte. (figura 105).

Graph: Current vectors

**Figura 106 Correntes longitudinais no setor 05/vagas S**

Houve neste setor e nesse caso, ainda que discreto, a refração de ondas e isso permitiu o surgimento da corrente mais bem definida que o caso anterior com sentido nordeste apresentando o valor médio de 0,08m/s, podendo ser vista na figura 106.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

**Figura 107 Potencial do transporte sedimentar no setor 05/vagas S**

O valor do potencial de transporte sedimentar nesse caso foi, em torno, de 0,06m<sup>3</sup>/h, como pode ser visualizada na figura 107.

A tabela 13 abaixo mostra, de forma sintética, o quanto cada condição de mar transporta ao longo de um ano. Além disso, apresenta o valor líquido deste transporte no Setor05 que teve sentido positivo (+) que representa ir para nordeste.

**Tabela 13: Quantidade de sedimento transportada em cada condição de mar e o transporte líquido para o setor05**

Condições de Mar		Vagas NE (16.9 %) Hs 2,2m	Ondulações S (27.3 %) Hs 4,5m	Ondulações SE (15.8 %) Hs 5,2m	Ondulações ENE (25.8 %) Hs 1,8m	Vagas S (8.6 %) Hs 2,3m
Transporte anual/condição de mar (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE (+)	101,70	497774,61	550237,91	632,37	121,08
	Bruto p/ SW (-)	-3923,50	-143648,44	-20198,83	-3215,74	-3,09
	LÍQUIDO	-3821,79	354126,17	530039,08	-2583,36	117,98
Transporte anual (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE TOTAL	1048867,69				
	Bruto p/ SW TOTAL	-170989,62				
	LÍQUIDO	877878,07				

### 6.3.6 SETOR 06

O setor 06 (figura 108), na área que foi modelada apresenta comprimento de 20 km e sua direção é N45E, a direção da costa neste setor aumentou em relação ao setor anterior (Setor05). Este setor (Concheiros) apresenta uma particularidade em relação aos demais, pois é o sedimento deste lugar apresenta pelo menos duas modas de sedimento, de acordo com (CALLIARI & KLEIN, 1993). Por isso adotou-se o D50 da areia como 0,210mm, devido o grão neste lugar ser maior. O setor 06 apresentou na malha computacional as seguintes características:

- Dimensão X (perpendicular à linha de costa) 11165 m ou 319 linhas;
- Dimensão Y (paralela à linha de costa) 20125 m ou 575 colunas

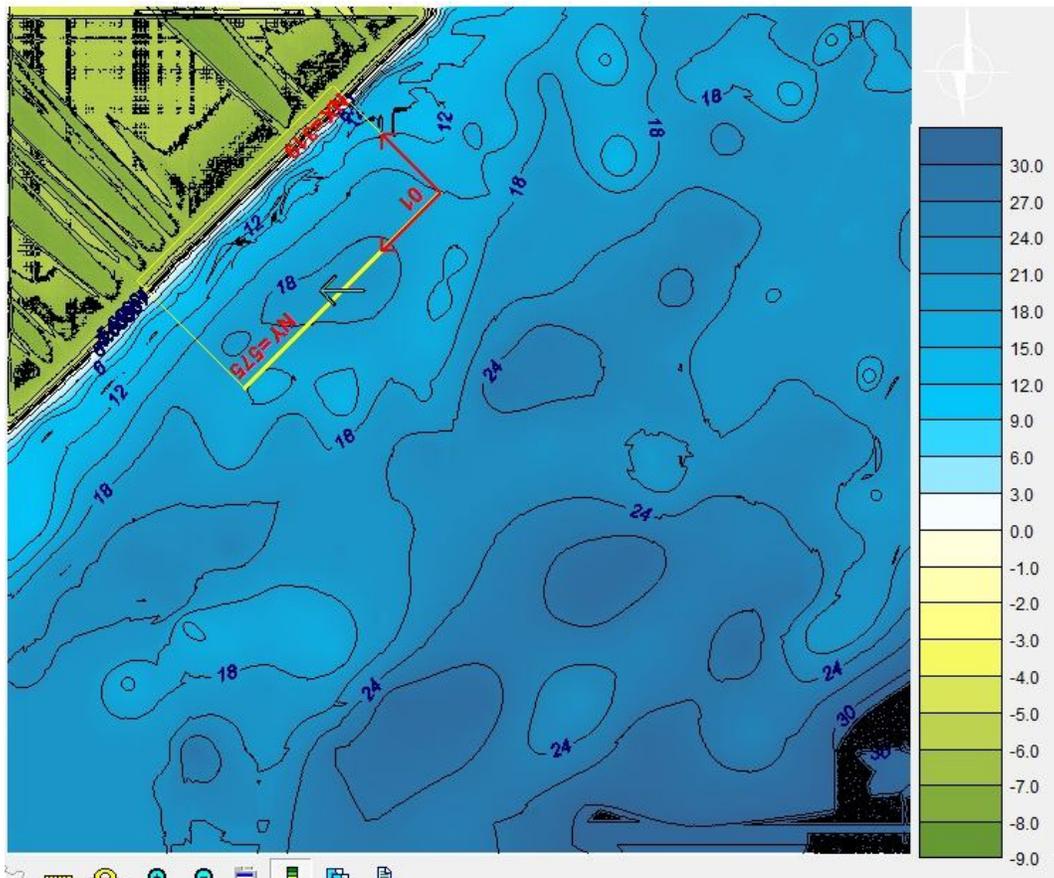
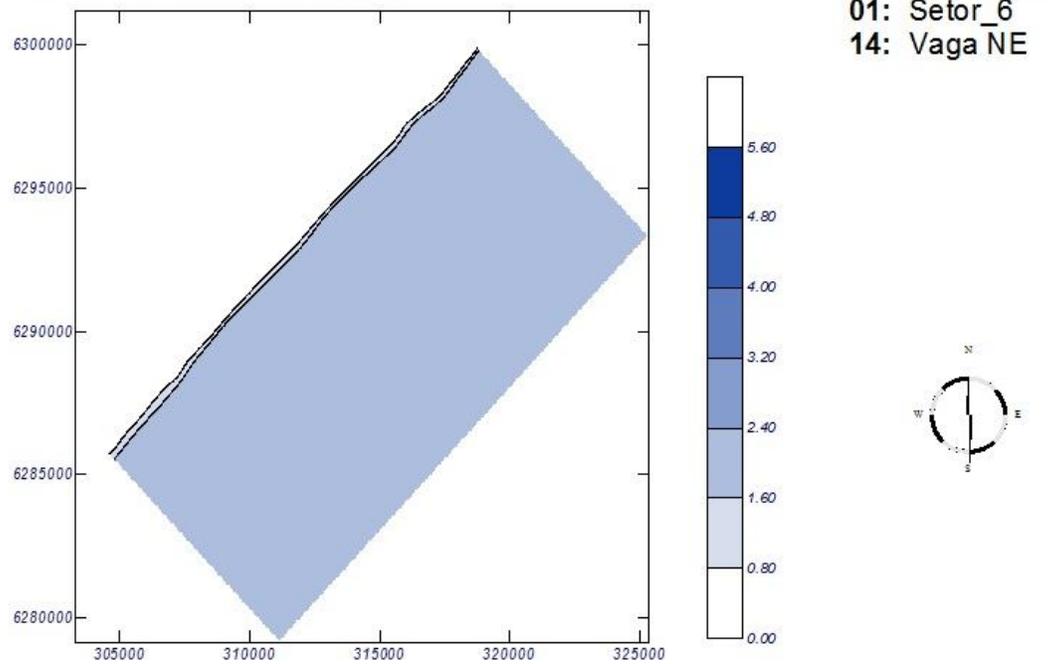


Figura 108 Setor 06

### VAGAS DE NORDESTE

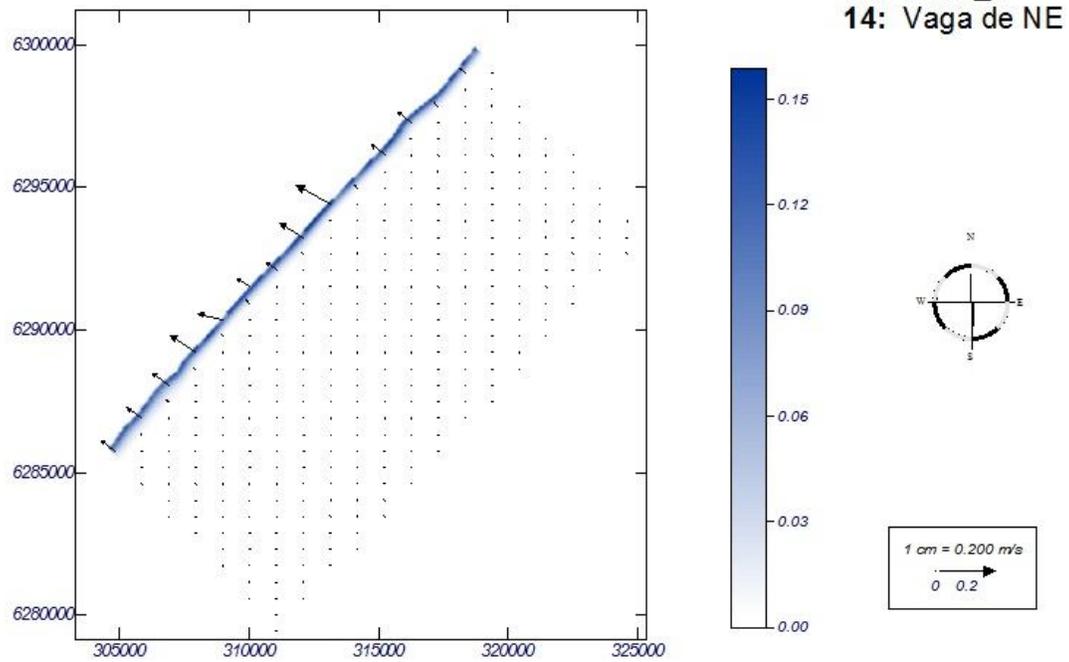
Graph: Significant wave height



**Figura 109** Altura significativa das ondas no setor 06/vagas NE

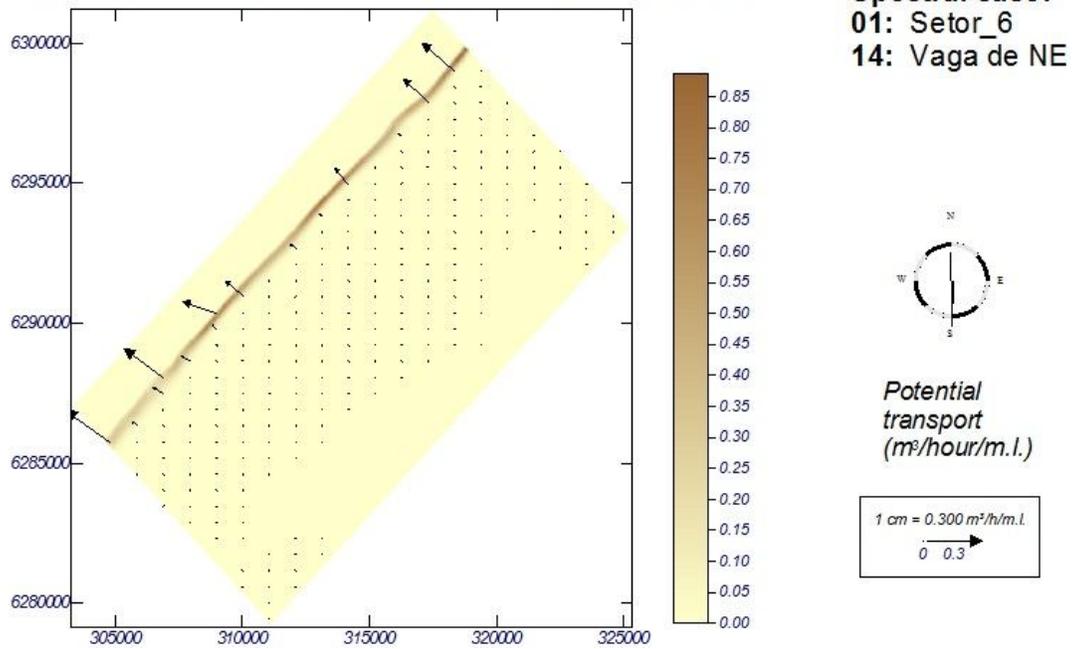
A Vaga de NE praticamente não sofre fenômeno da refração ao longo de sua propagação, com incidência quase que frontal a malha computacional ela só tende a se alterar próximo da linha de costa. Os trens de ondas deste cenário não tende a convergir os raios de onda nem a norte e nem a sul da malha, conforme a figura 109.

Graph: Current vectors

**Figura 110 Correntes longitudinais no setor 06/vagas NE**

A corrente formada teve sentido voltada discretamente para sudoeste e com velocidade pequena, em torno, de 0,08 m/s. (figura 110).

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

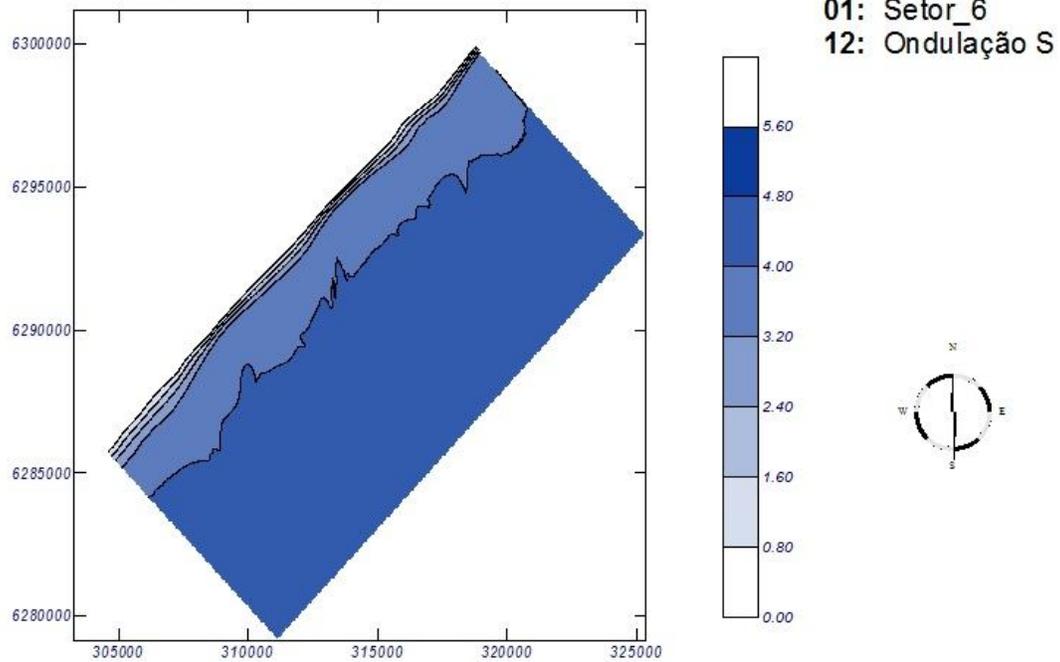


**Figura 111** Potencial do transporte sedimentar no setor 06/vagas NE

O transporte de areia nessa condição foi discreto e apresentou a taxa de 0,4 m<sup>3</sup>/h, nesse cenário, pelo resultado, demonstra que a condição de mar, em questão, direciona para uma situação estável no âmbito sedimentar, não apresentando grandes chances de mudanças costeiras quanto à erosão e deposição, de acordo com a figura 111.

## ONDULAÇÕES DE SUL

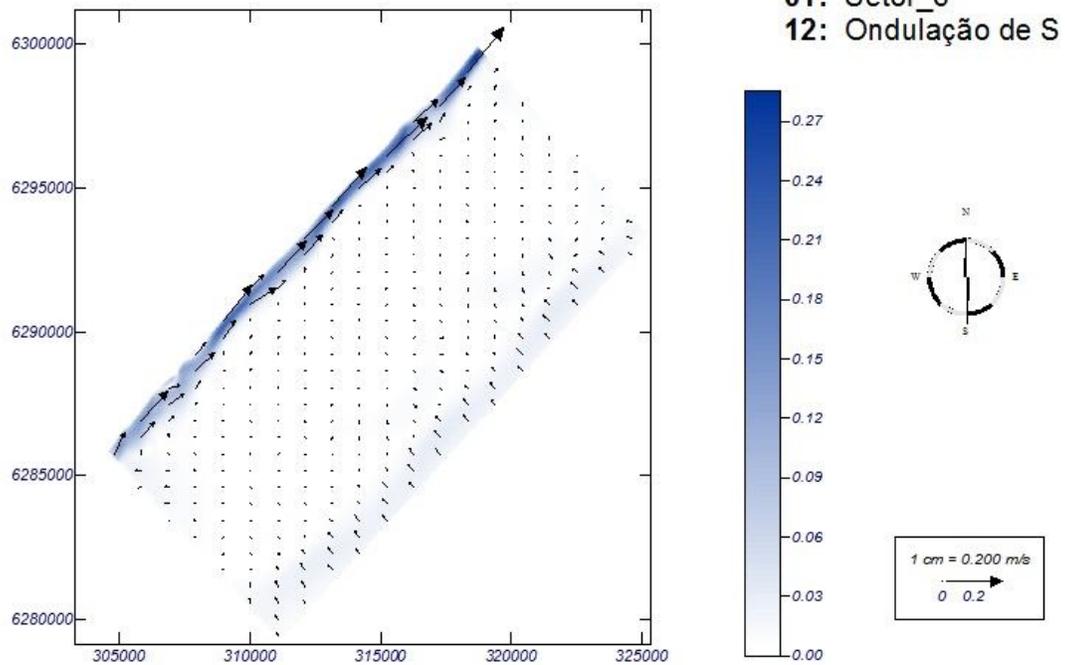
Graph: Significant wave height



**Figura 112** Altura significativa das ondas no setor 06/ondas S

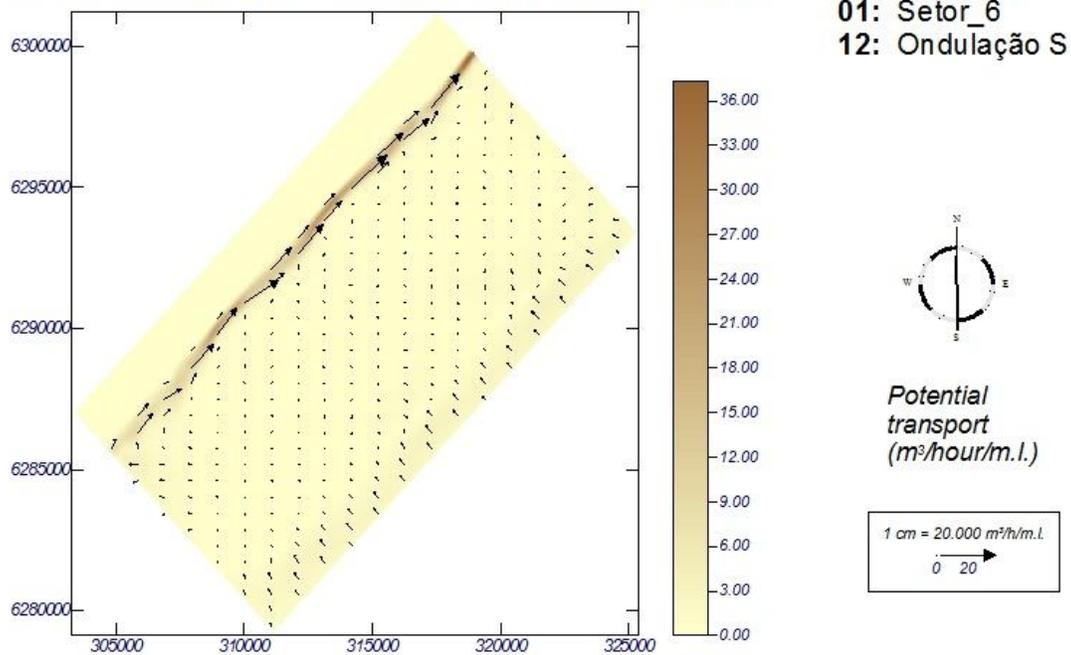
Já observamos neste trabalho que ondulação do quadrante sul tem atuado de modo intenso nos setores da costa do Rio Grande do Sul, esta condição, apresentou uma situação de propagação de ondas energéticas, como pode ser vista na figura 112. A ondulação sofreu com processo de refração, haja vista que a incidência das ondas obliquamente contribuiu para isso.

Graph: Current vectors

**Figura 113 Correntes longitudinais no setor 06/ondas S**

Desse modo houve a formação de corrente longitudinal mais bem evidenciada na malha computacional que o caso anterior. Esta corrente teve sentido voltado para nordeste e apresentou uma velocidade, por volta, de 0, 14 m/s, de acordo com a figura 113.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

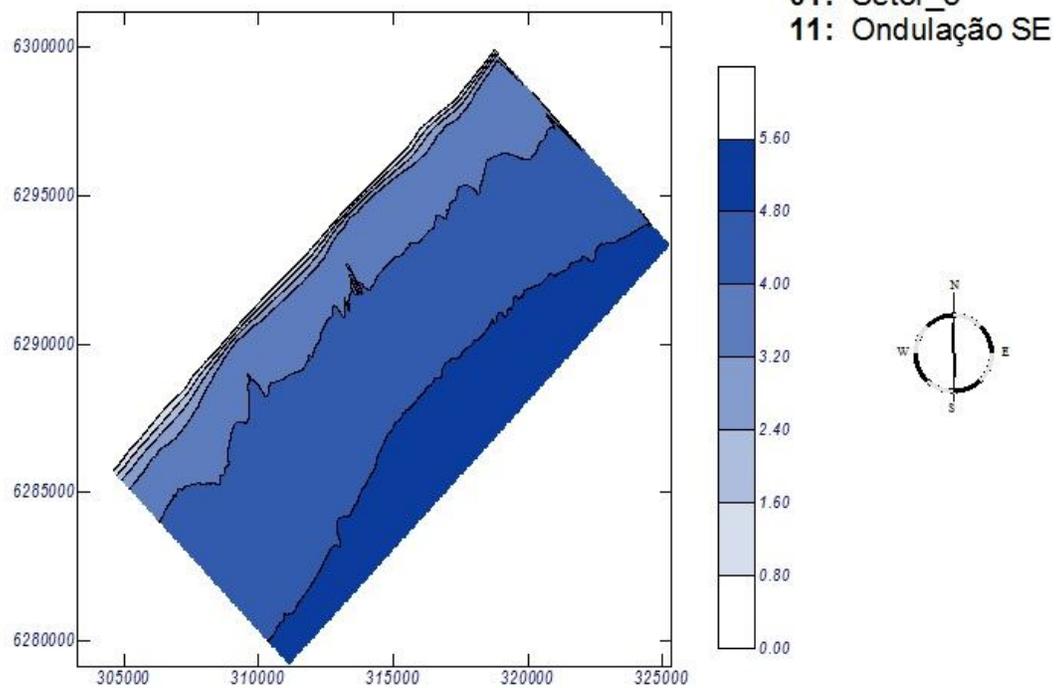


**Figura 114 Potencial do transporte sedimentar no setor 06/ondas S**

O transporte associado esta condição onda-corrente apresentou uma taxa de potencial de 18 m<sup>3</sup>/h(maior potencial do Setor06) muito mais significativo às mudanças costeiras que o caso anterior (Vaga de NE), pois esta ondulação de sul apresentou taxa 45 vezes maior, conforma a figura 114.

### **ONDULAÇÕES DE SUDESTE**

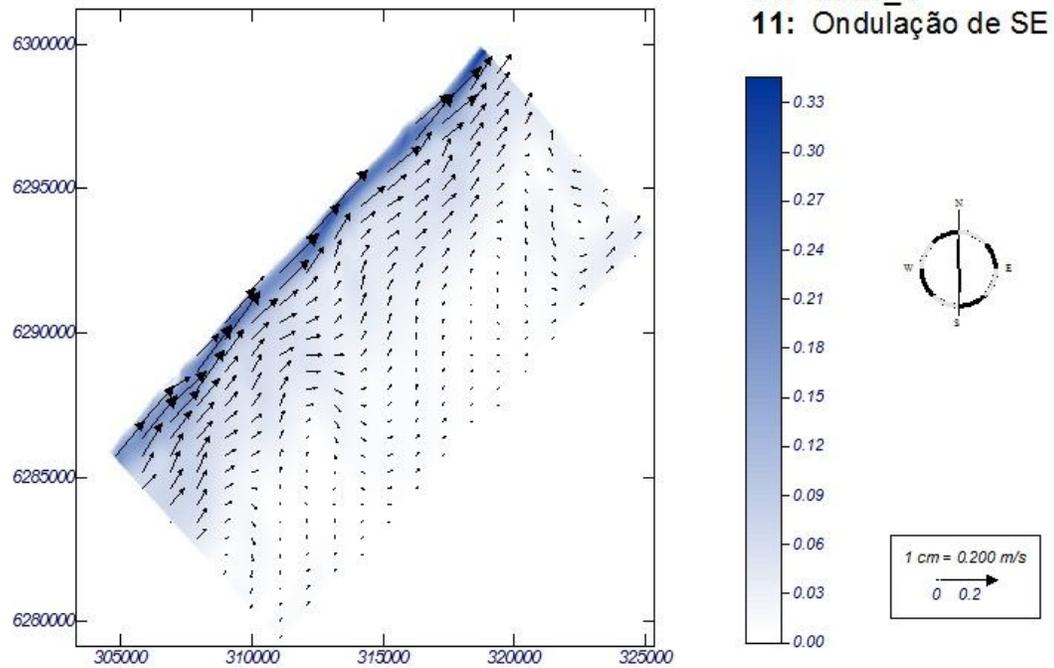
Graph: Significant wave height



**Figura 115** Altura significativa das ondas no setor 06/ondulação SE

Analogamente ao caso de Ondulação de S, este caso também apresentou refração de ondas e formação de corrente longitudinal bem caracterizada, de acordo com a figura 115.

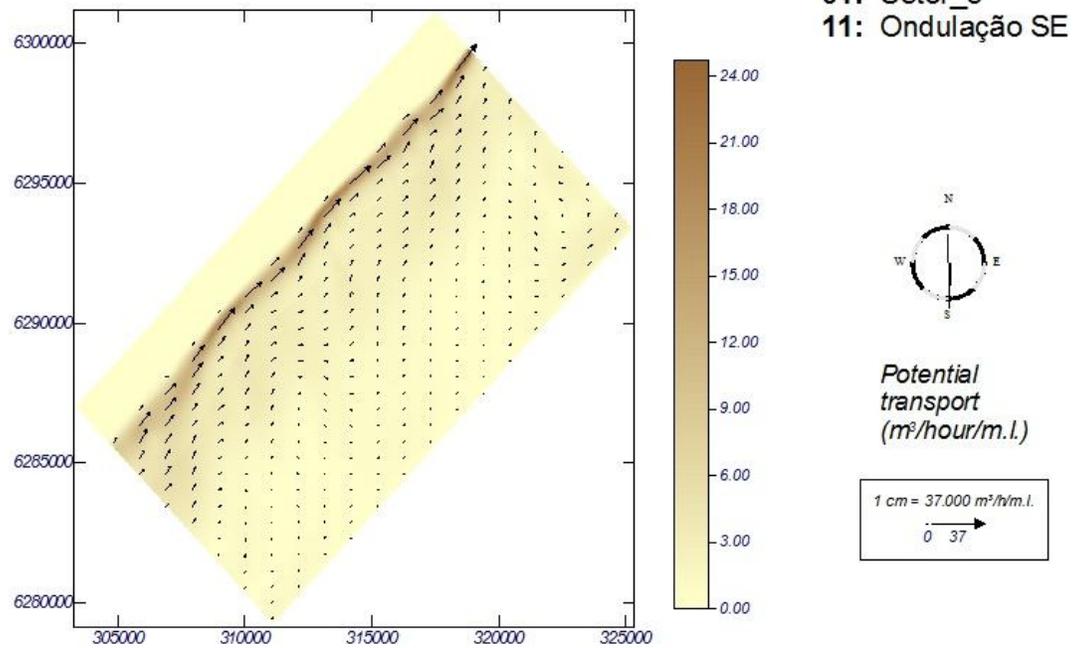
Graph: Current vectors



**Figura 116** Correntes longitudinais no setor 06/ondulação SE

A corrente formada apresentou valor de velocidade, em torno, de 0,17 m/s tendo seu sentido orientado para nordeste, como pode ser vista na figura 116.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

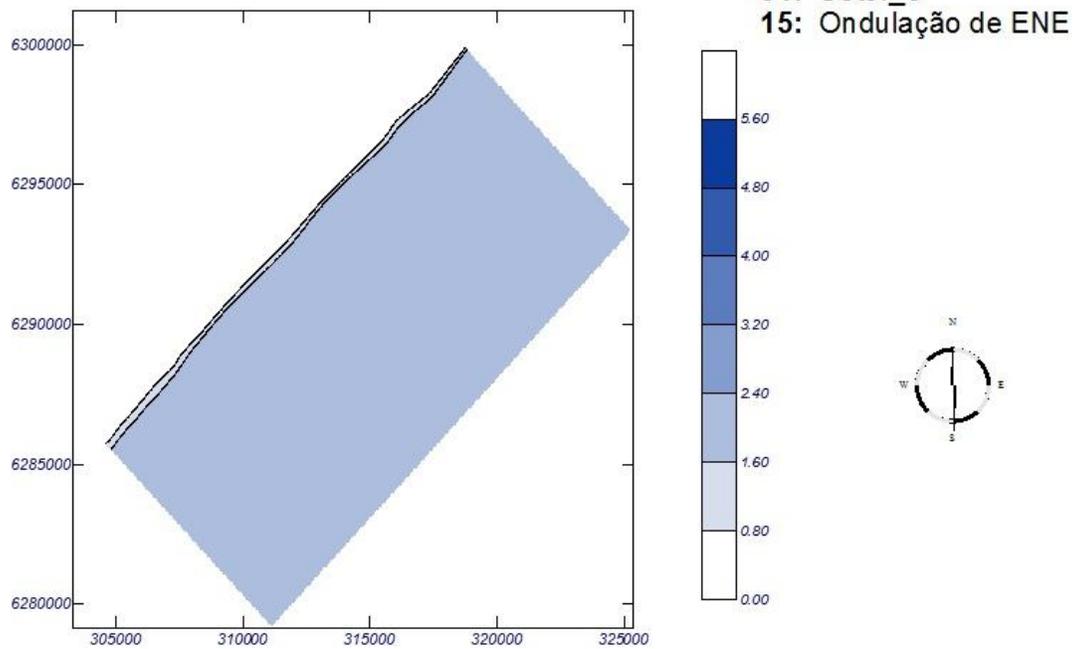


**Figura 117** Potencial do transporte sedimentar no setor 06/ondulação SE

A taxa de transporte de areia que se desloca para nordeste neste caso foi de 12 m<sup>3</sup>/h que em conjunto com a ondulação de S representam os casos de maior fluxo sedimentar, de acordo com a figura 117.

### **ONDULAÇÕES DE LESTE-NORDESTE**

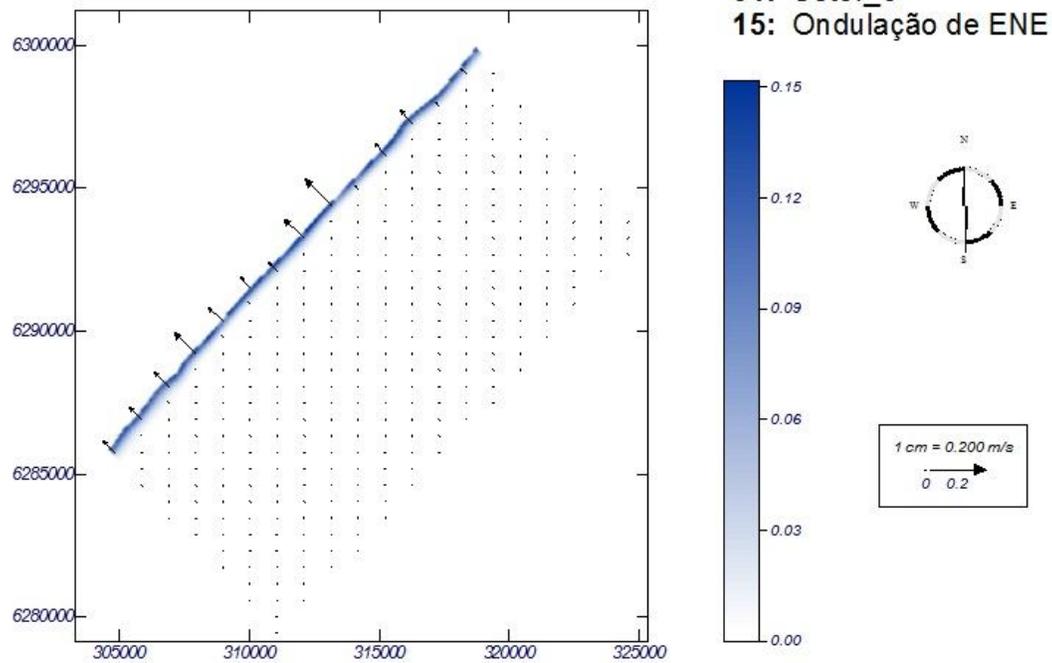
Graph: Significant wave height



**Figura 118** Altura significativa das ondas no setor 06/ondulação ENE

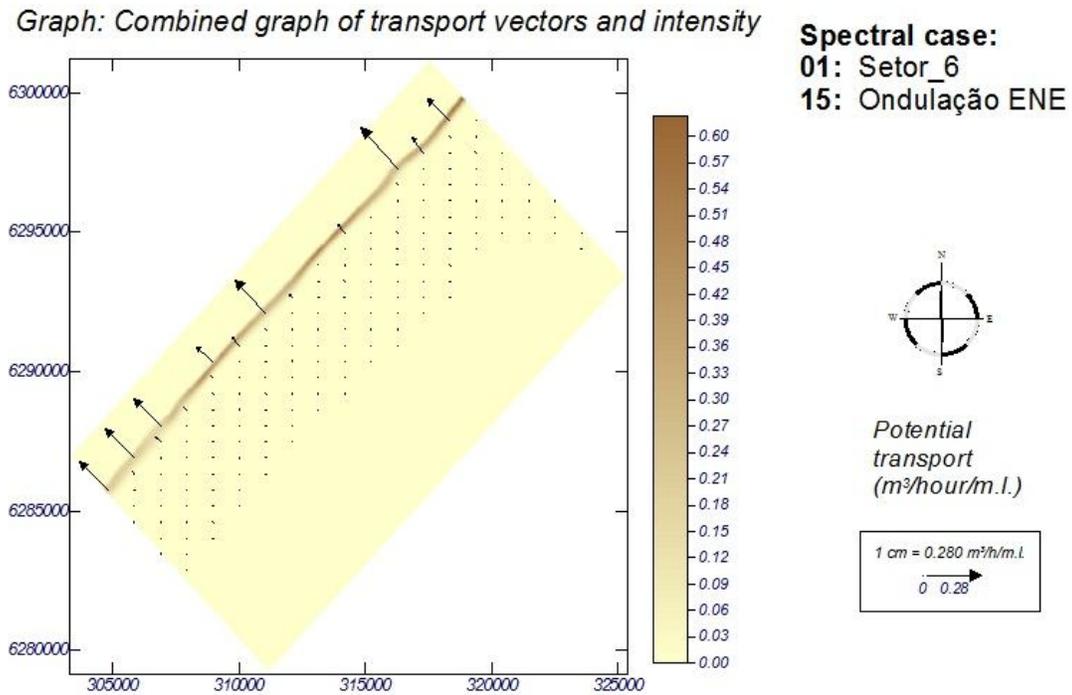
Esta ondulação não apresenta grande energia em seu espectro de frequência e ela não apresentou sofrer refração de ondas (figura 118). Neste cenário é muito comum a dissipação da energia de onda paulatinamente ao longo da trajetória e formando, discretamente, a corrente longitudinal.

Graph: Current vectors



**Figura 119 Correntes longitudinais no setor 06/ondulação ENE**

A corrente apresentou valor de 0,08 m/s com suave tendência para sudoeste, de acordo com a figura 119, não sendo muito significativa para capacidade de transporte sedimentar.

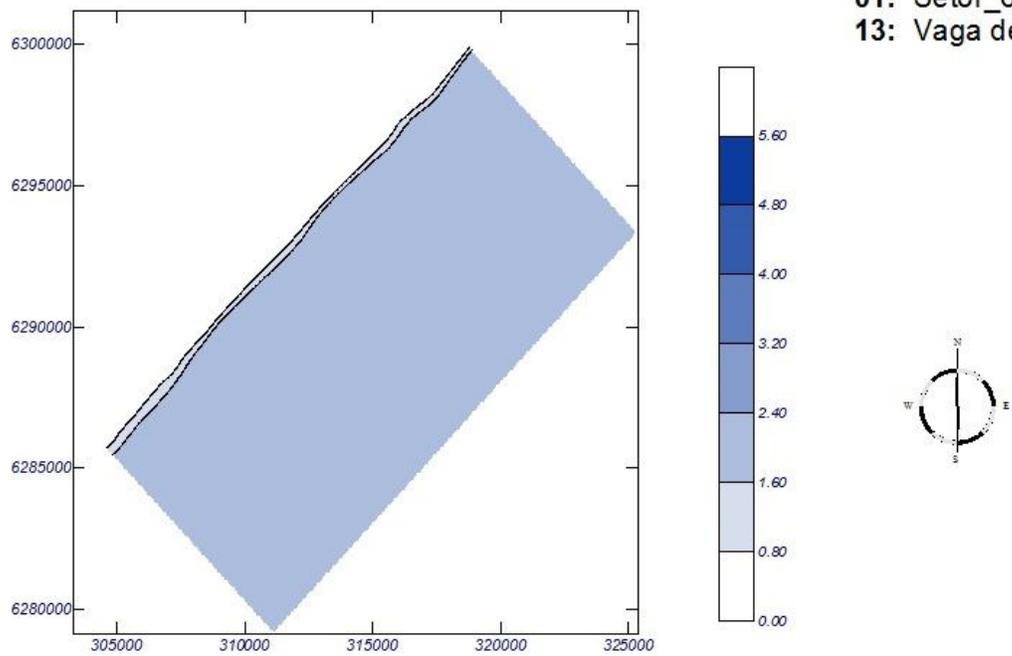


**Figura 120 Potencial do transporte sedimentar no setor 06/ondulação ENE**

O valor de potencial de transporte de areia foi de 0,31  $m^3/h$  indo para sudoeste. Este cenário não representa uma considerável contribuição de fluxo sedimentar.(figura 120).

### VAGAS DE SUL

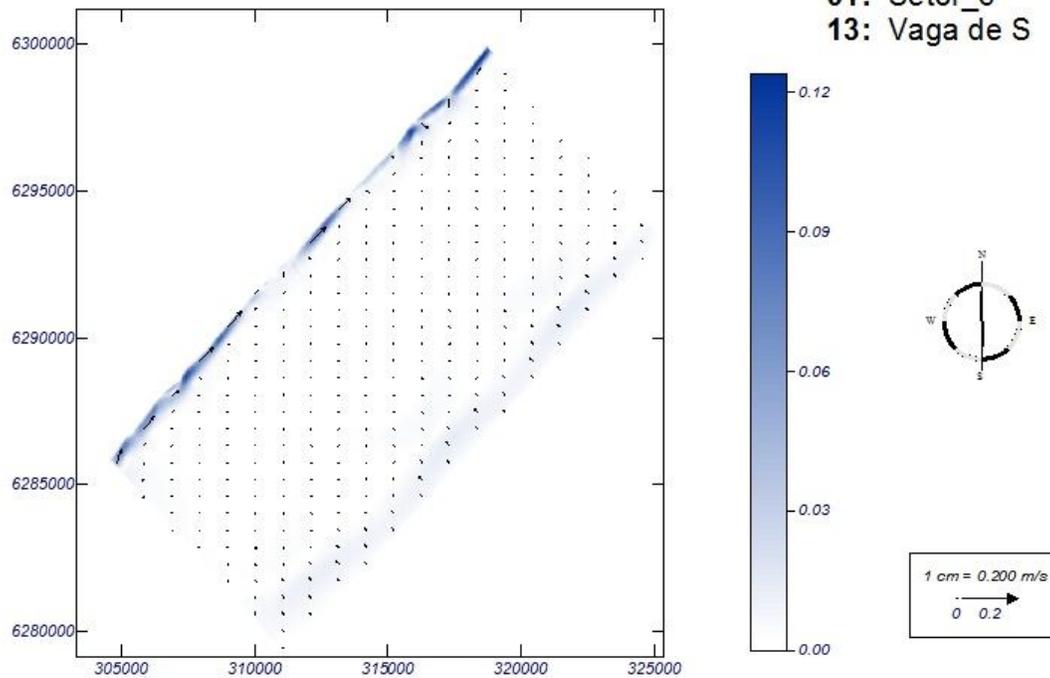
Graph: Significant wave height



**Figura 121** Altura significativa das ondas no setor 06/vagas S

A diferença, basicamente, desta condição para condição anterior é a incidência oblíqua em relação à costa que permite a formação de corrente longitudinal mais característica, devido esta onda sofrer o processo de refração, conforme a figura 121.

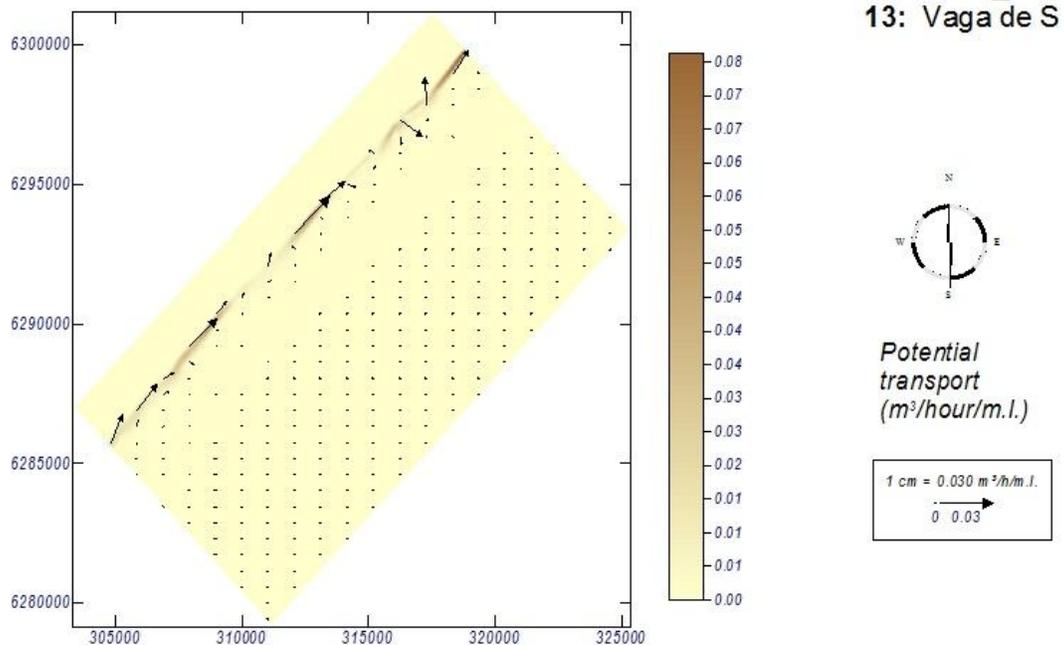
Graph: Current vectors



**Figura 122 Correntes longitudinais no setor 06/vagas S**

Pelo fato de apresentar pouca energia, embora crie uma corrente longitudinal, esta não apresenta grandes vetores de velocidade, nesse caso a velocidade foi de 0,06 m/s se deslocando para nordeste como acontece com todas as ondas que partem do quadrante sul, como pode ser vista na figura 122.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity



**Figura 123 Potencial do transporte sedimentar no setor 06/vagas S**

O potencial de transporte da Vaga de S foi  $0,04 m^3/h$  se deslocando para nordeste, este caso parece não interferir muito a mudanças costeiras, pois é o que menos contribuiu para o Setor 06 no fluxo sedimentar. (figura 123).

A tabela 14 abaixo mostra, de forma sintética, o quanto cada condição de mar transporta ao longo de um ano. Além disso, apresenta o valor líquido deste transporte no Setor06 (utilizando o D50 padrão das simulações  $0,125mm$ ) que teve sentido positivo (+) que representa ir para nordeste.

A tabela 15 abaixo mostra, de forma sintética, o quanto cada condição de mar transporta ao longo de um ano. Além disso, apresenta o valor líquido deste transporte no Setor06 (utilizando o D50 local  $0,210mm$ ) que teve sentido positivo (+) que representa ir para nordeste.

**Tabela 14: Quantidade de sedimento transportada em cada condição de mar e o transporte líquido para o setor06 (granulometria do Cassino ).**

Condições de Mar		Vagas NE (16.9 %) Hs 2,2m	Ondulações S (27.3 %) Hs 4,5m	Ondulações SE (15.8 %) Hs 5,2m	Ondulações ENE (25.8 %) Hs 1,8m	Vagas S (8.6 %) Hs 2,3m
Transporte anual/condição de mar (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE (+)	40,67	423548,88	563054,39	991,07	75,55
	Bruto p/ SW (-)	-3710,59	-136052,44	-21205,30	-2574,85	-4,86
	LÍQUIDO	-3669,91	287496,43	541849,09	-1583,77	70,69
Transporte anual (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE TOTAL	987710,59				
	Bruto p/ SW TOTAL	-163548,06				
	LÍQUIDO	824162,52				

**Tabela 15: Quantidade de sedimento transportada em cada condição de mar e o transporte líquido para o setor06 (D50 local=0,210mm)**

Condições de Mar		Vagas NE (16.9 %) Hs 2,2m	Ondulações S (27.3 %) Hs 4,5m	Ondulações SE (15.8 %) Hs 5,2m	Ondulações ENE (25.8 %) Hs 1,8m	Vagas S (8.6 %) Hs 2,3m
Transporte anual/condição de mar (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE (+)	28,62	302446,66	400684,98	714,74	52,57
	Bruto p/ SW (-)	-2675,50	-96439,78	-15020,17	-1857,59	-3,15
	LÍQUIDO	-2646,87	206006,88	385664,80	-1142,84	49,42
Transporte anual (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE TOTAL	703927,60				
	Bruto p/ SW TOTAL	-115996,21				
	LÍQUIDO	587931,39				

É interessante destacar que para as mesmas condições ondulatórias, alterando somente o tamanho médio do grão, D50, ocorre uma significativa mudança no transporte de sedimento. No caso o transporte para o D50 de 0,125mm teve um valor de cerca de 40% maior que o transporte para o tamanho de grão local (D50 de 0,210mm), ou seja, o tamanho de grão de areia maior exige mais energia para ser transportado que grão menores. Todavia como no lugar há presença de material biodetrítico a análise é muito mais complexa, principalmente porque estas particularidades interferem no perfil da praia e contribuem para formar uma praia menos dissipativa ou reflectivas.

Há ainda de ser considerado que este trabalho utilizou um único valor para D50 local (0,210 mm) por exigências da modelagem (valor unimodal), mas segundo alguns autores como (CALLIARI & KLEIN, 1993) pode haver uma distribuição sedimentar com mais de duas modas de sedimentos o que aumentaria ainda mais a sua complexidade e interpretação dos sedimentos.

### 6.3.7 SETOR 07

O setor 07 (figura124), na área que foi modelada apresenta comprimento de 20 km e sua direção é N47E, a direção da costa neste setor aumentou em relação ao setor anterior (Setor06). O setor 07 apresentou na malha computacional as seguintes características:

- Dimensão X (perpendicular à linha de costa) 10990 m ou 314 linhas;
- Dimensão Y (paralela à linha de costa) 19775 m ou 565 colunas

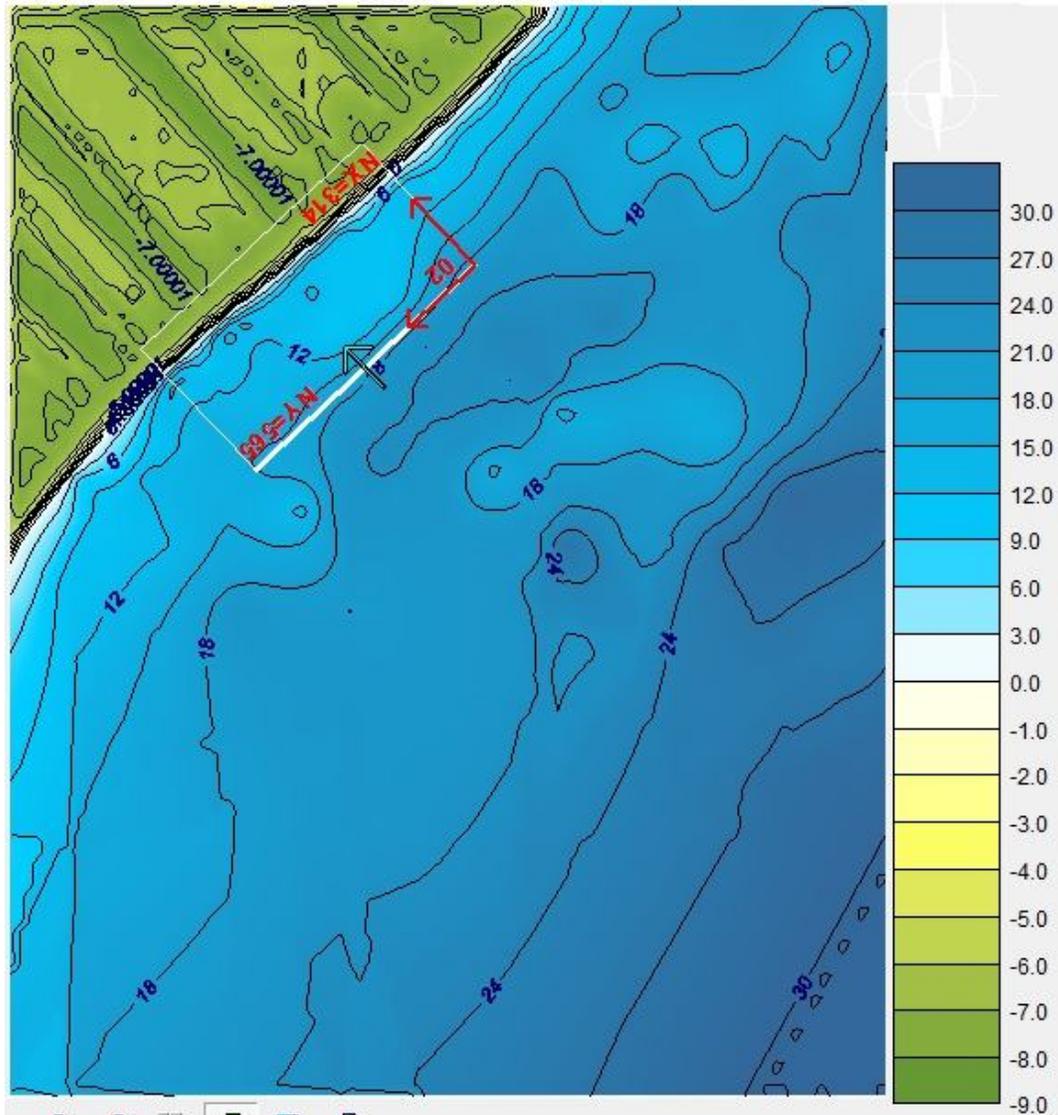
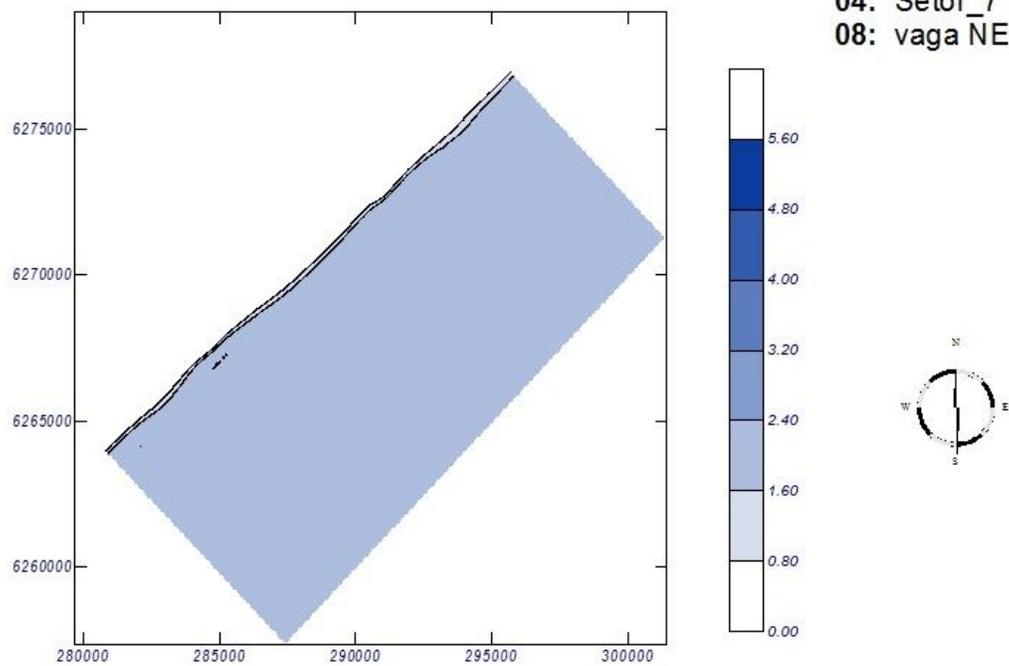


Figura 124 Setor 07

VAGAS DE NORDESTE

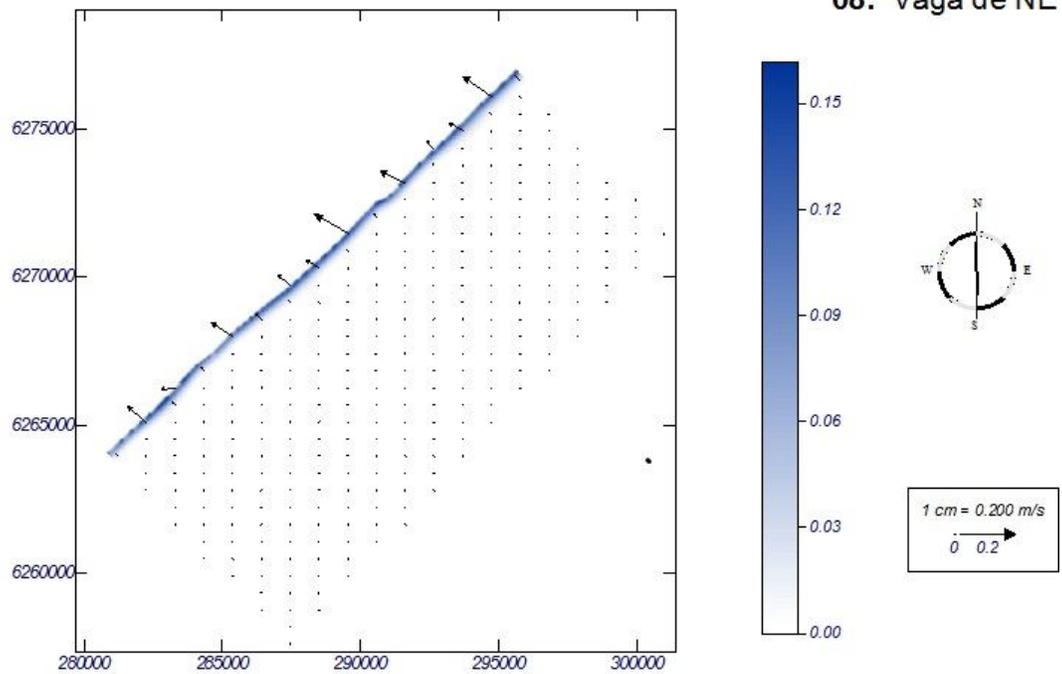
Graph: Significant wave height



**Figura 125** Altura significativa das ondas no setor 07/vagas NE

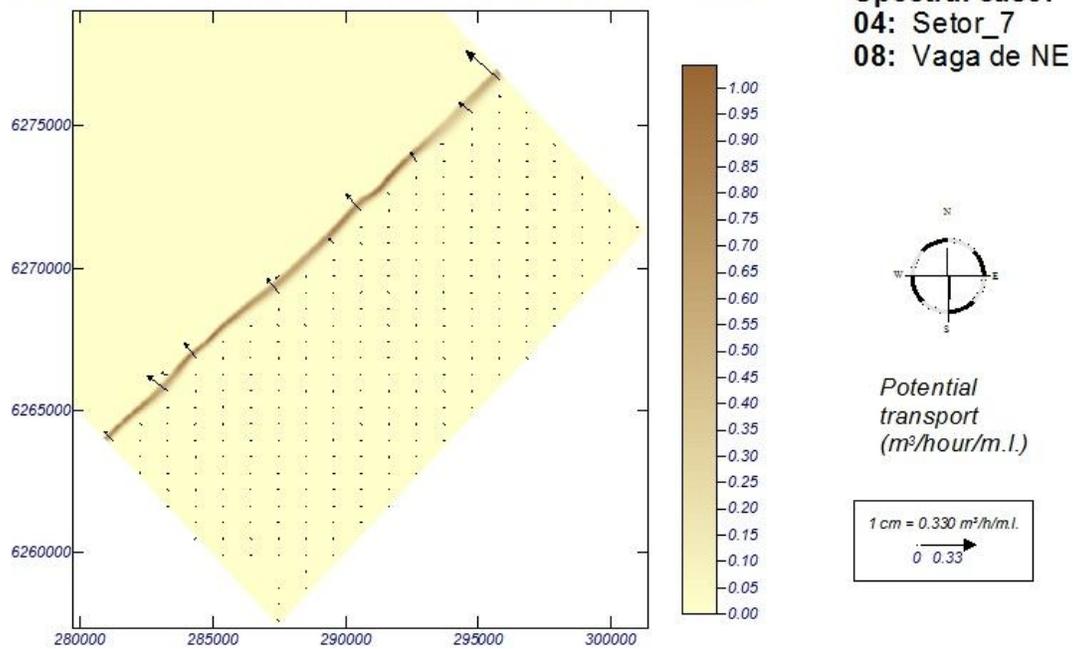
A vaga de NE neste caso sofreu em alguns lugares da malha computacional processos de refração de ondas, mas não muito acentuada como já ficou caracterizado aqui neste trabalho que esta condição e as demais que parte do quadrante NE/L não gera correntes bem definidas, como pode ser vista na figura 125.

Graph: Current vectors

**Figura 126 Correntes longitudinais no setor 07/vagas NE**

A corrente longitudinal formada teve seu sentido orientado para sudoeste e apresentou valor de 0,08 m/s. (figura 126).

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

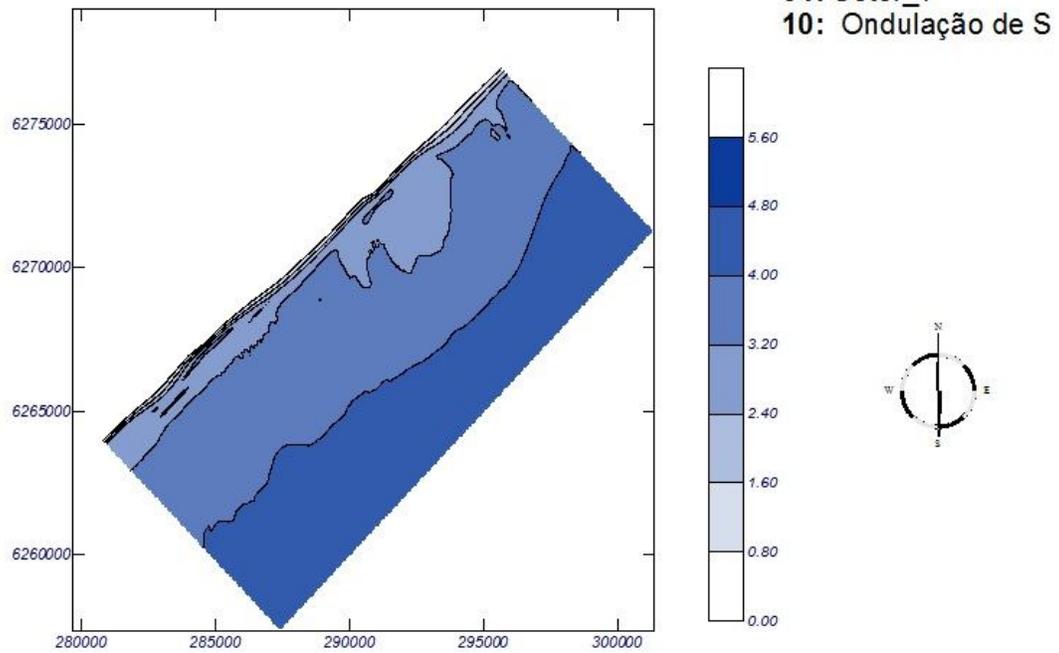


**Figura 127** Potencial do transporte sedimentar no setor 07/vagas NE

O potencial de transporte de areia deste caso foi de 0,05m<sup>3</sup>/h de acordo com a figura 127, valor considerado pequeno diante dos vários valores já expostos neste trabalho.

## ONDULAÇÕES DE SUL

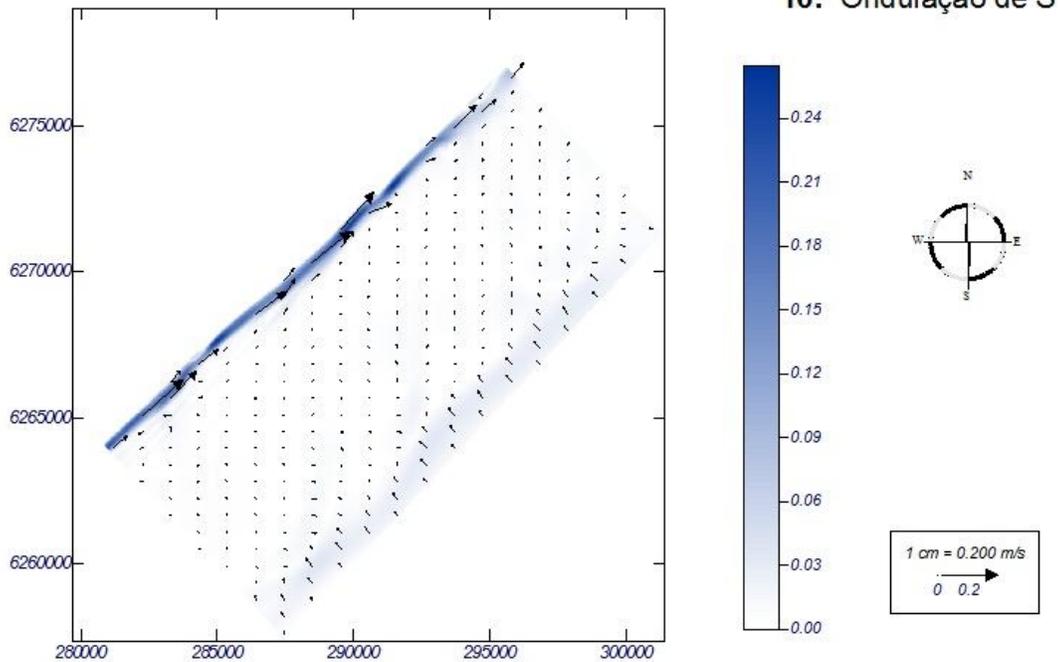
Graph: Significant wave height



**Figura 128** Altura significativa das ondas no setor 07/ondas S

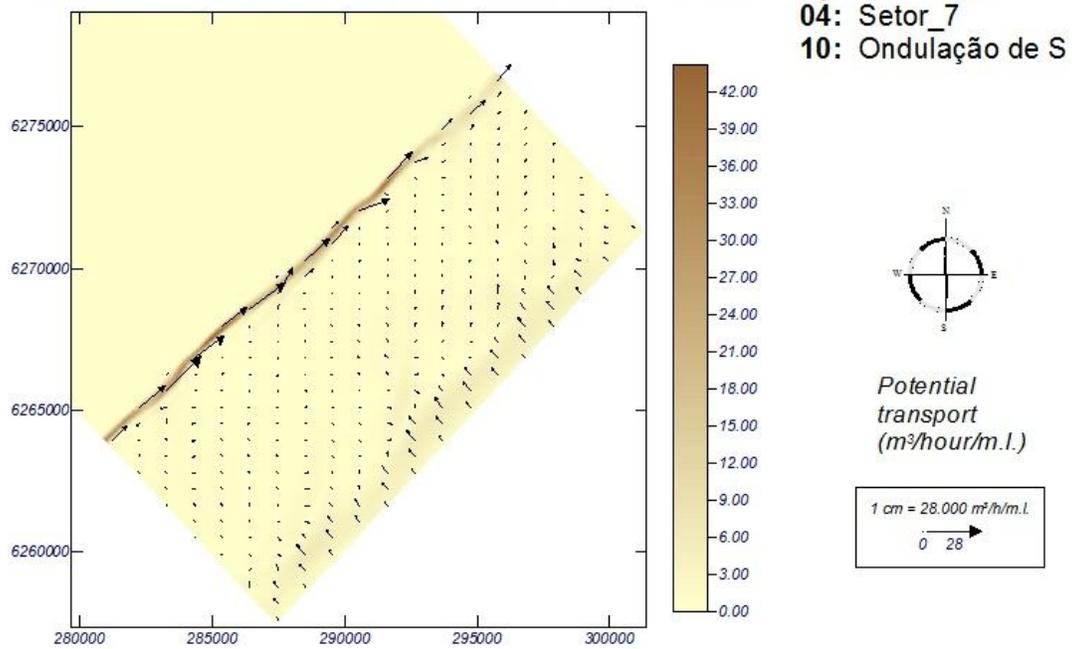
A ondulação de S, ao longo do que foi apresentado neste trabalho apresentou sofrer processo de refração devido à incidência das ondas, neste caso também se confirmou esta condição e pode ser visualizada na figura 128.

Graph: Current vectors

**Figura 129** Correntes longitudinais no setor 07/ondas S

A corrente formada foi claramente bem definida e teve sentido para nordeste como esperado. Os vetores de velocidade da corrente apresentaram valor, em torno, de 0,13 m/s., de acordo com a figura 129.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

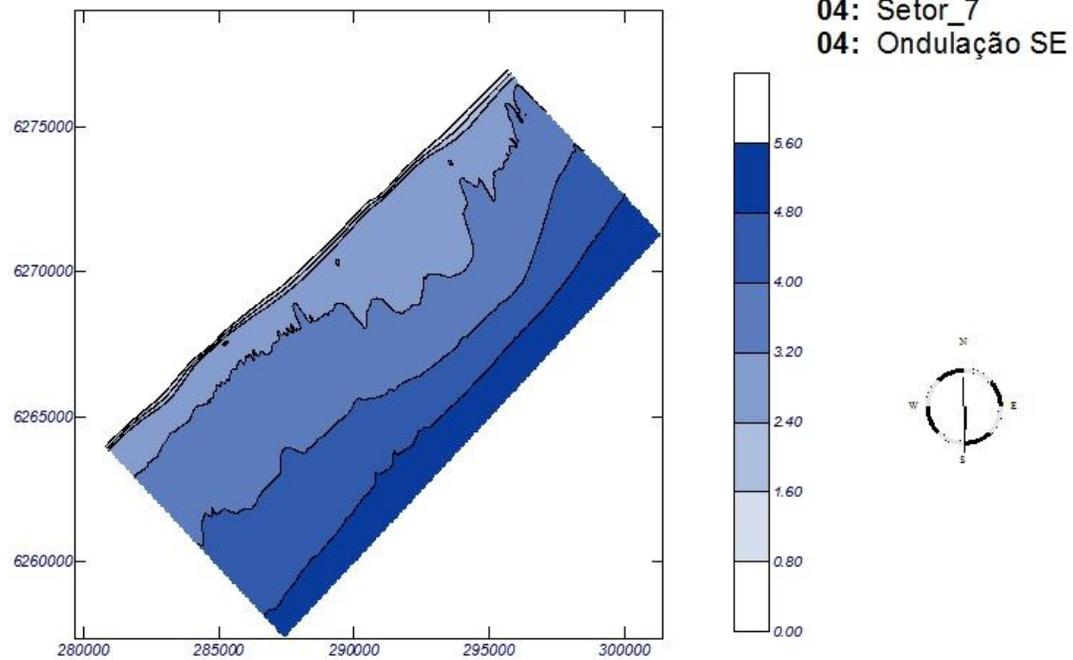


**Figura 130** Potencial do transporte sedimentar no setor 07/ondas S

O potencial da taxa de transporte de areia para este *cluster* sempre variou entre o 1º ou 2º maior, e novamente esta condição permaneceu com esta posição (maior potencial do Setor 07). O valor encontrado pelo modelo foi de 22 m<sup>3</sup>/h, como pode ser vista na figura 130.

## ONDULAÇÕES DE SUDESTE

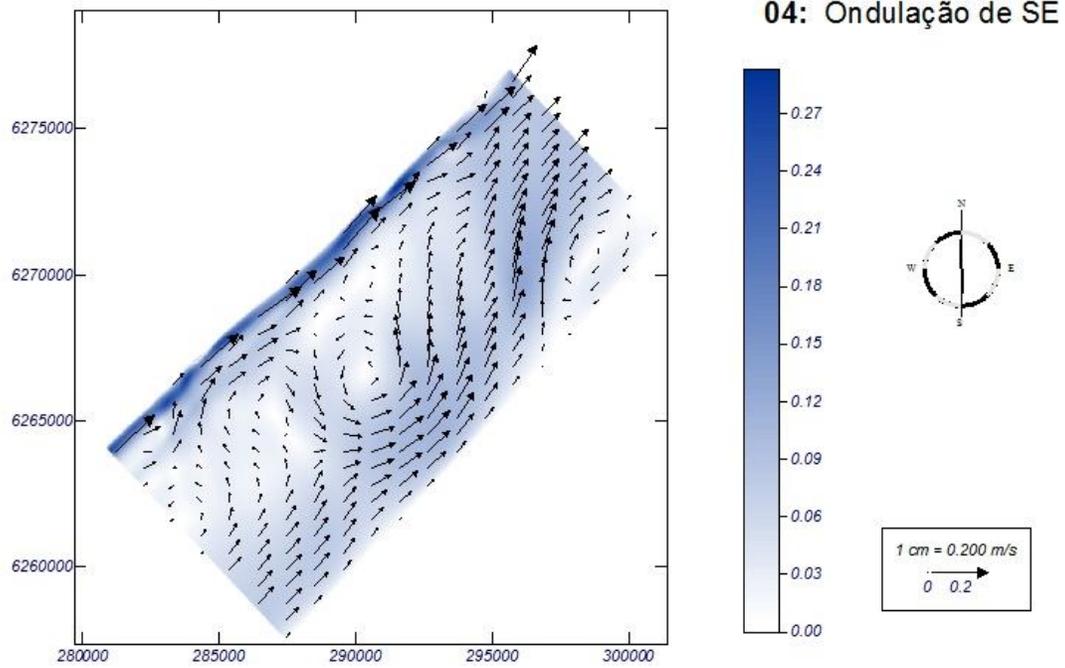
Graph: Significant wave height



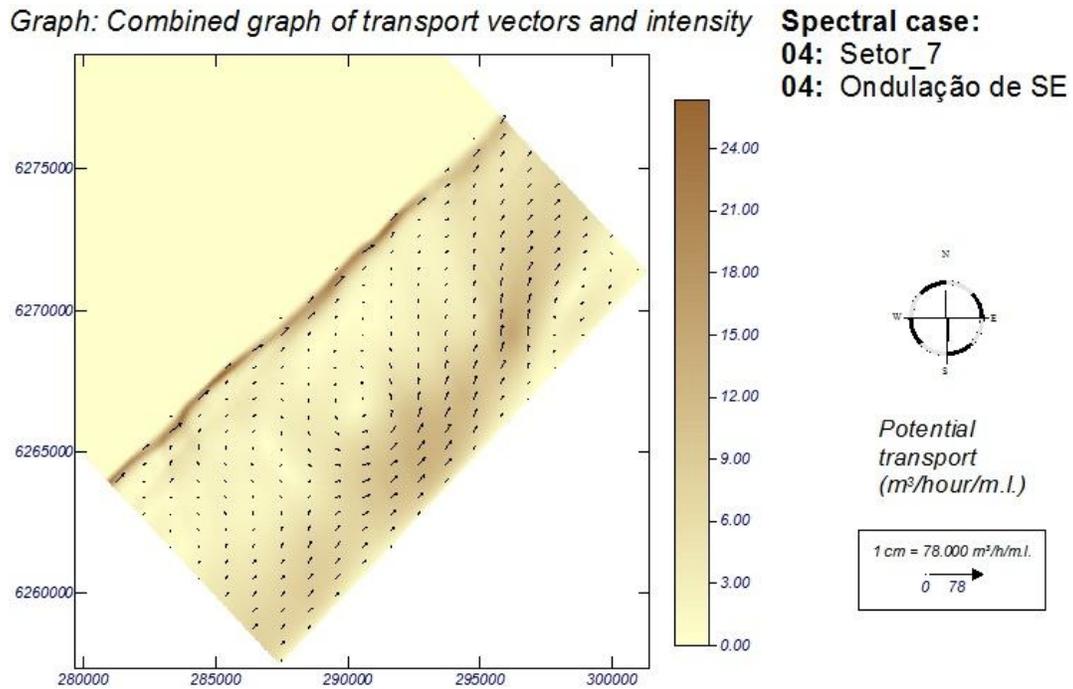
**Figura 131** Altura significativa das ondas no setor 07/ondulação SE

Ondulações partindo deste quadrante sempre são esperadas por uma dinâmica mais acentuada, como já foi mostrada nos diversos casos e setores deste trabalho. Nesta condição deste Setor 07 houve processo de refração de ondas e os raios de onda convergiram para formar uma corrente longitudinal bem definida, como pode ser visualizada na figura 131.

Graph: Current vectors

**Figura 132 Correntes longitudinais no setor 07/ondulação SE**

A corrente formada foi bem caracterizada ao longo de toda a malha computacional, esta apresentou valores dos vetores corrente, em torno, de 0,15 m/s com sentido orientado para nordeste, de acordo com a figura 132.

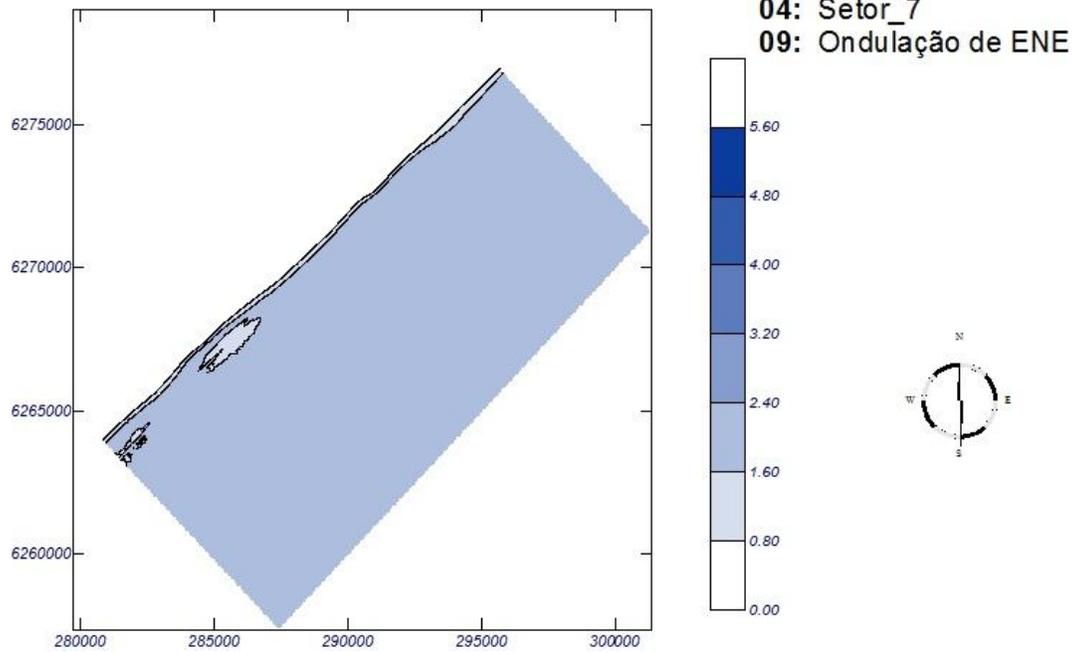


**Figura 133** Potencial do transporte sedimentar no setor 07/ondulação SE

O potencial encontrado nesta condição apresentou taxa de transporte de  $13 m^3/h$  (figura 133) e como já foi mostrado ao longo deste trabalho, as ondulações de sudeste apresenta grande quantidade de energia e acabam tendo grande capacidade de transporte.

#### **ONDULAÇÕES DE LESTE-NORDESTE**

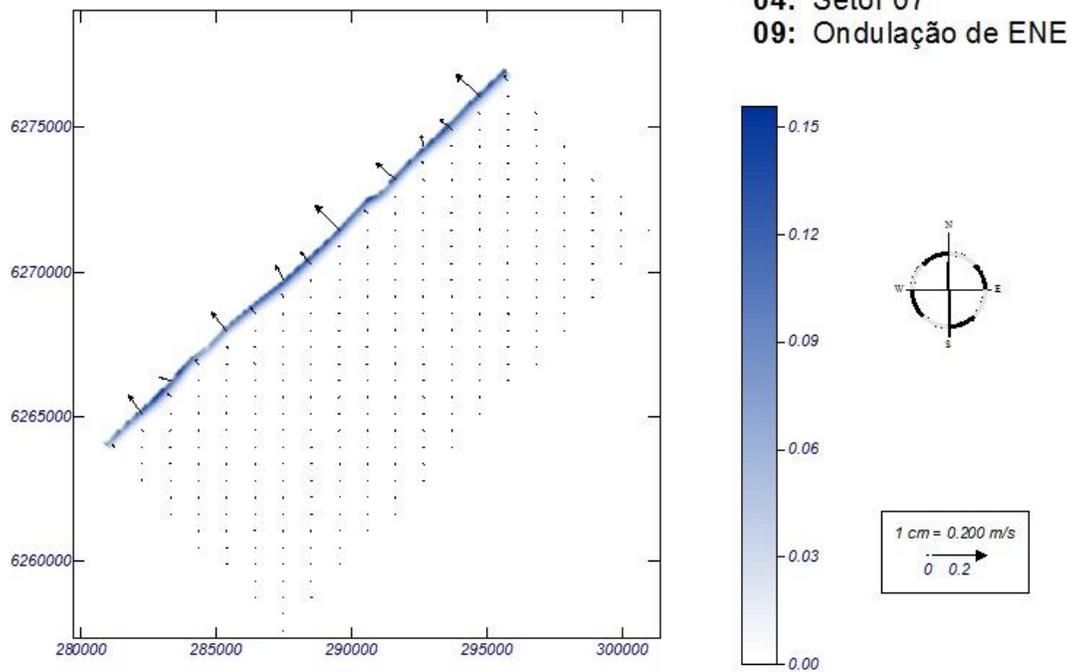
Graph: Significant wave height



**Figura 134** Altura significativa das ondas no setor 07/ondulação ENE

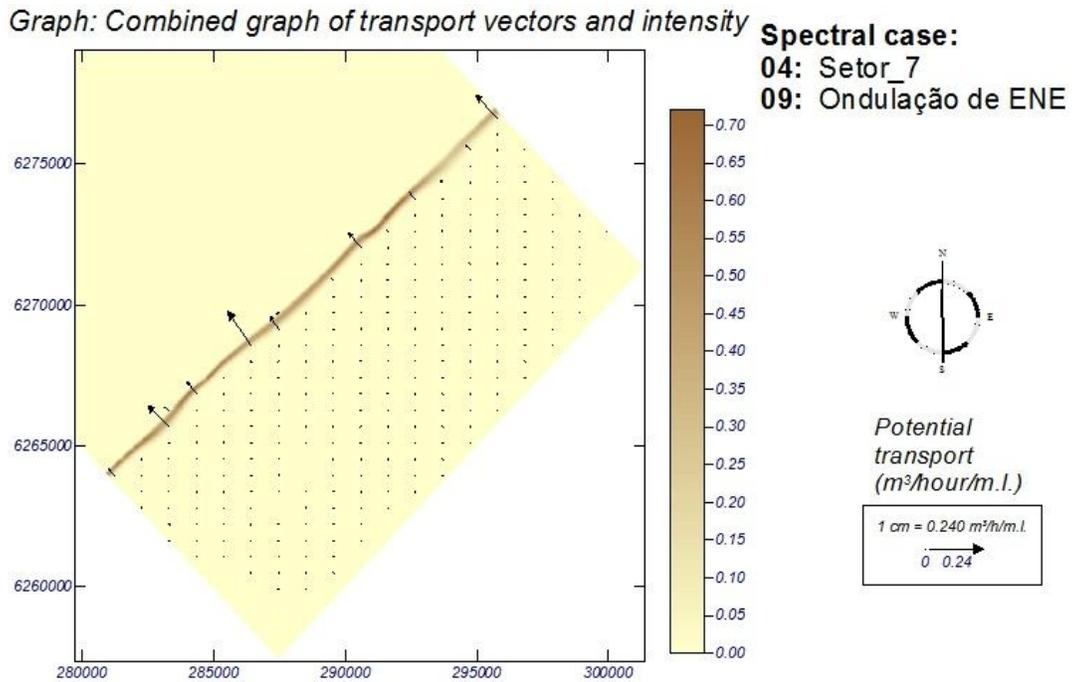
Este caso complementar, pela imagem 134, não tende a sofrer refração e os raios de onda praticamente não se alteram, pois a incidência quase normal favorece isso.

Graph: Current vectors



**Figura 135 Correntes longitudinais no setor 07/ondulação ENE**

A corrente como é esperada para esta condição de mar foi pequena apresentando o valor de 0,075 m/s com deslocamento para sudoeste, de acordo com a figura 135.

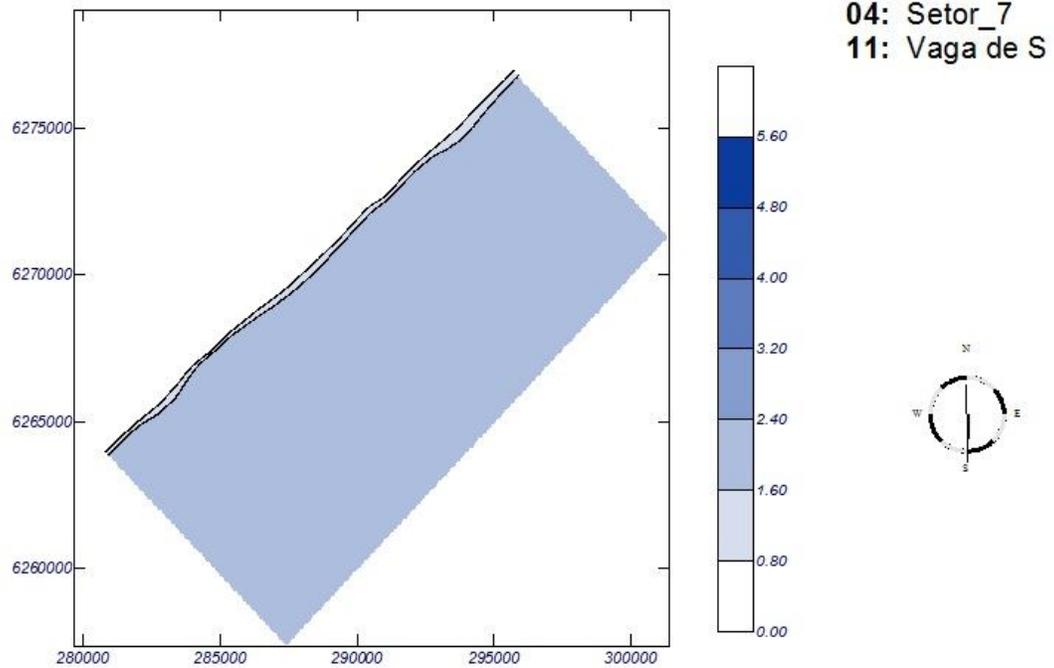


**Figura 136** Potencial do transporte sedimentar no setor 07/ondulação ENE

O transporte de areia também foi pequeno e apresentou a taxa de  $0,32 m^3/h$  para sudoeste. Esta condição junto com a Vaga de NE não transportam muito sedimentos, suas transformações na costa podem vir a serem representativas dependentes da frequência de ocorrência. (figura 136).

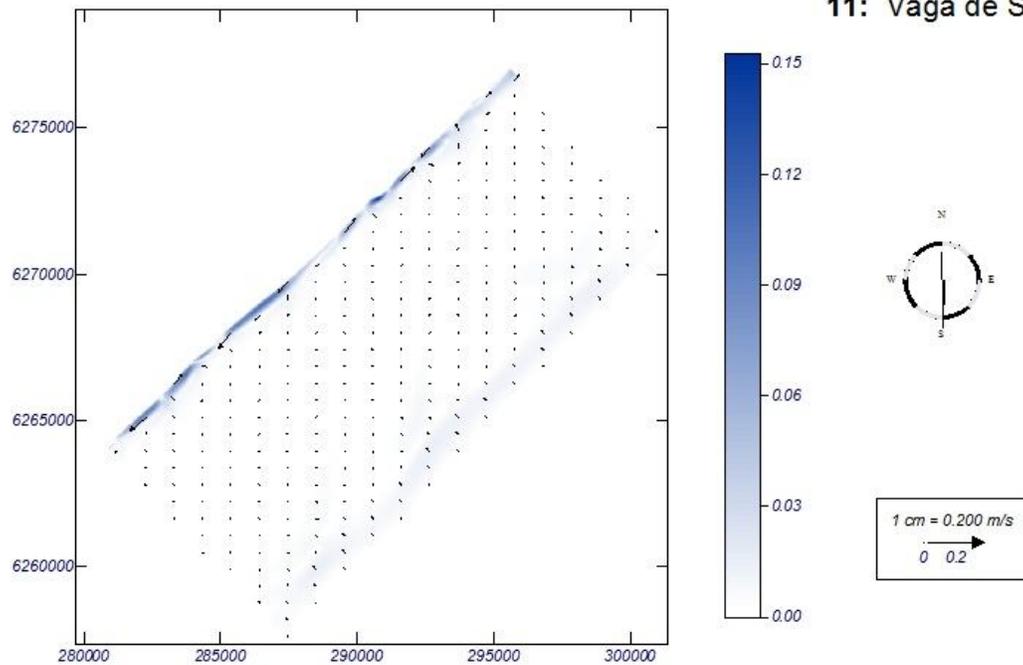
#### VAGAS DE SUL

Graph: Significant wave height

**Figura 137** Altura significativa das ondas no setor 07/vagas S

Esta Condição de mar caracteriza-se pela formação bem definida da corrente que se manifesta mais pela incidência oblíqua das ondas, mas que não apresentam condição de desenvolver grande capacidade de transporte costeiro, pois não forma corrente velozes decorrente de não haver grande quantidade de energia associada ao espectro de frequência. (figura 137).

Graph: Current vectors

**Figura 138 Correntes longitudinais no setor 07/vagas S**

Esta velocidade de corrente foi de 0,07 m/s com sentido orientado para nordeste, de acordo com a figura 138.

Graph: Combined graph of transport vectors and intensity

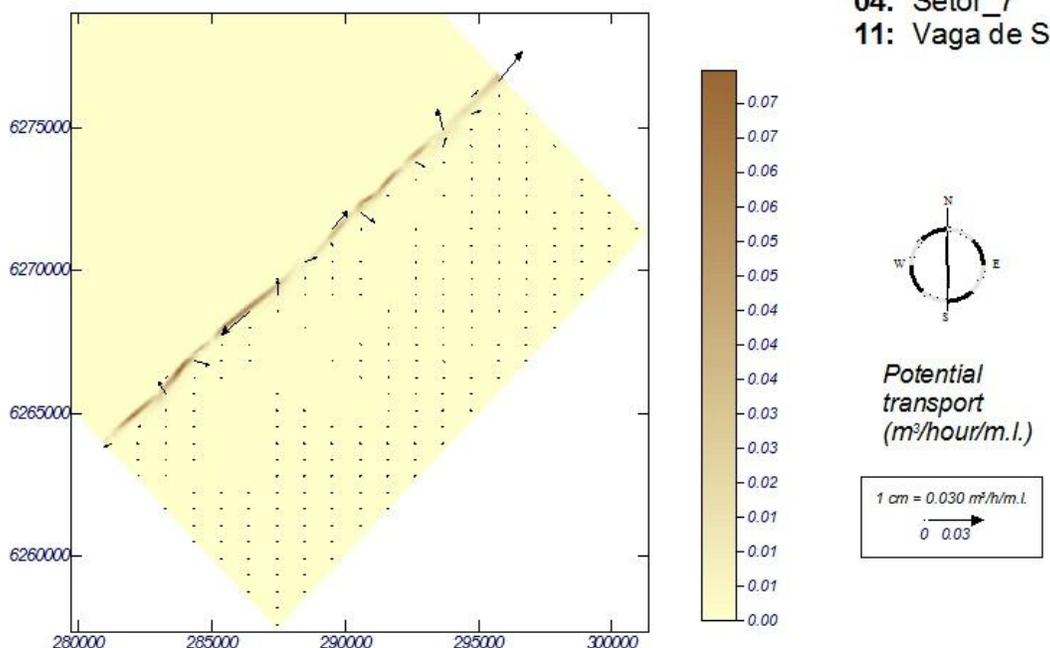


Figura 139 Potencial do transporte sedimentar no setor 07/vagas S

O potencial de areia desta condição de mar para este setor foi de 0,03 m<sup>3</sup>/h caracterizando sempre o *cluster* que tem a menor capacidade de carregar areia, conforme a figura 139.

A tabela 16 abaixo mostra, de forma sintética, o quanto cada condição de mar transporta ao longo de um ano. Além disso, apresenta o valor líquido deste transporte no Setor07 que teve sentido positivo (+) que representa ir para nordeste.

Tabela 16 Quantidade de sedimento transportada em cada condição de mar e o transporte líquido para o setor07

Condições de Mar		Vagas NE (16.9 %) Hs 2,2m	Ondulações S (27.3 %) Hs 4,5m	Ondulações SE (15.8 %) Hs 5,2m	Ondulações ENE (25.8 %) Hs 1,8m	Vagas S (8.6 %) Hs 2,3m
Transporte anual/condição de mar (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE (+)	314,81	449708,81	787285,84	0	33,21
	Bruto p/ SW (-)	-3144,15	-63640,93	-39727,27	-3468,48	-34,11
	LÍQUIDO	-2829,34	386067,87	747558,57	-3468,48	-0,89
Transporte anual (m <sup>3</sup> /ano/m)	Bruto p/ NE TOTAL	1237342,68				
	Bruto p/ SW TOTAL	-110014,96				
	LÍQUIDO	1127327,72				

## 6.4 TRANSPORTE LÍQUIDO

Após a obtenção das quantidades potenciais de transporte de areia em todos os casos e para todos os setores, mostra-se agora o valor líquido resultante ao longo de um ano para cada trecho que foi discretizado neste trabalho, somando-se um total de 7, de acordo com a visualização da figura 140.

Taxas Anuais da Deriva Litorânea

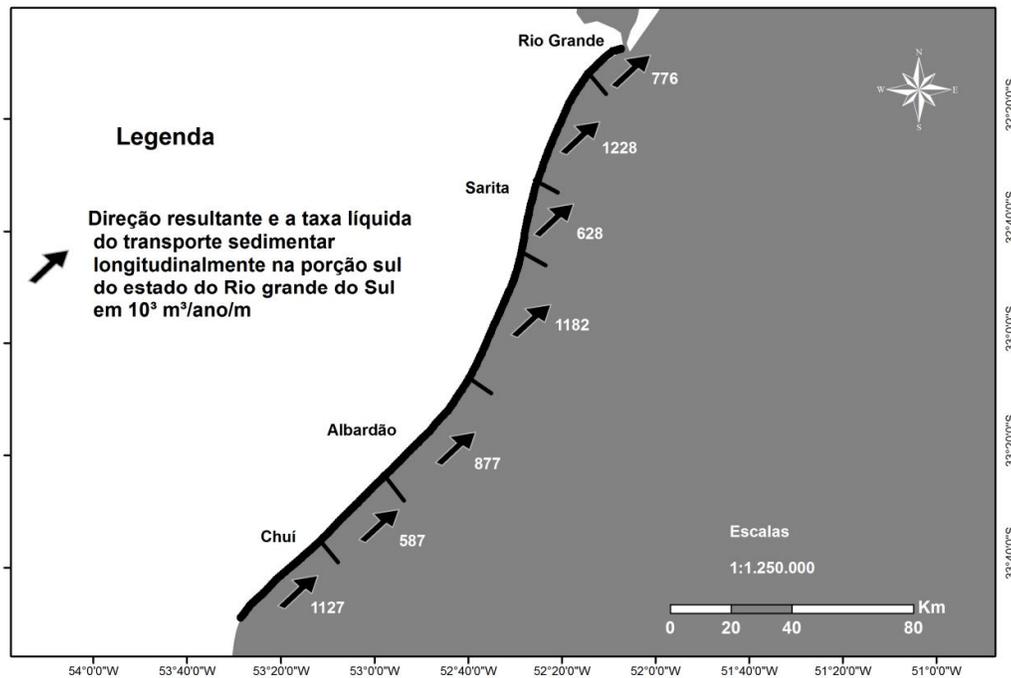


Figura 140 - Transporte Líquido por Setor

Os valores encontrados estão em milhar ( $10^3$ )/ano para cada setor. Eles comparados com outros trabalhos, mostram uma coerência para os resultados, no qual todos indicam que o transporte resultante se direciona para nordeste da costa sul-rio-grandense.

Percebeu-se que as Ondas do quadrante sul/sudeste geralmente associadas a fenômenos de tempestades, principalmente no inverno, apresentam grandes quantidade de energia e são as principais modeladoras da costa, pois apresentam grande capacidade de transportar sedimentos. Mesmo assim, embora não tão significativo, a porção sul apresenta algumas complexidades com relação à batimetria, dentre as quais mesmo que a onda tenha incidência normal à costa, como o que ocorre nos cenários provenientes de quadrante nordeste/leste, as ondas, invariavelmente, sofrem refração. Esta característica também já foi identificada por (SPERANSKI & CALLIARI, 2001) e percebida principalmente nos casos de Vaga de NE, Ondulação de ENE.

Comparando o Setor 01 que teve valor médio de 776.964 m<sup>3</sup>/ano com o trabalho de (SPROVIERI, 2011), que também utilizou o SMC, embora sua metodologia tenha sido diferente da usada neste trabalho, pois não utilizou a calibração dos resultados de campo, encontrou o valor de 124.159 m<sup>3</sup>/ano para a praia do Cassino. Aparentemente o resultado desta dissertação pode estar superestimado, pois está cerca de 7 vezes maior que o de (SPROVIERI, 2011). Contudo, comparando com outros trabalhos de transporte sedimentar, como o de (LIMA *et al*, 2001) que foi um trabalho semelhante a esta dissertação, no qual dividiu a costa do Rio Grande do Sul em setores. Este encontrou para a porção compreendida no Cassino o Valor de 2708.000 m<sup>3</sup>/ano o que representa um valor muito mais acentuado. Deduz que o resultado para o setor 01 desta dissertação está coerente perante aos resultados disponíveis na literatura, pois se encontra num valor intermediário.

Apesar dos 3 trabalhos estimarem o transporte sedimentar em taxa, a variável comprimento do setor pode ser a justificativa para menor ou maior taxa de transporte, pois coincidiu nos trabalhos que quanto maior o comprimento da costa maior foi o transporte sedimentar, pelo menos na região do Cassino apresentou este comportamento.

O setor 04 apresentou estar numa região de transição, pois está inserido entre os setores de menor e maior transporte longitudinal, isto é, entre os Setores 03 e 05 e 06. O transporte deste setor 04, 1182.652 m<sup>3</sup>/ano ficou próximo ao valor encontrado por (TOLDO JUNIOR. *et al*, 1998) que encontrou para as proximidades do setor 04 um valor estimado de 1227.000 m<sup>3</sup>/ano o que pode reforçar os questionamentos levantados nesta dissertação, uma vez que houve quase coincidência na estimativa.

É interessante salientar que o Setor 06 que a granulometria desta área é diferente das demais e por isso utilizou o D50 típico local. Este lugar é conhecido como região dos Concheiros e pela literatura especializada há grande diversidade de classes granulométricas estabelecidas no lugar, no qual, um estudo detalhado para este faz-se necessário. Todavia, segundo (CALLIARI & KLEIN, 1993) há pelo menos, duas modas estabelecidas nas classes de sedimentos e estas foram usadas como suporte neste trabalho.

Considerando o D50 local, a taxa de transporte anual foi a menor (587.931 m<sup>3</sup>/ano). Isto pode ser explicada pela própria questão sedimentar, no qual a energia teria que ser suficientemente maior para carregar grãos médios maiores, isto é, o D50 Concheiros (0,210mm) necessitaria de mais energia para ser transportado do que o D50 do Cassino (0,125mm). No entanto há uma evidente complexidade nesta região e que carece de mais investigações científicas para poder dar clareza no transporte sedimentar, uma vez que a mistura de classes granulométricas pode interferir no fluxo de sedimentos e na modelagem deste trabalho só foi possível carregar valores médios do total de sedimentos.

O setor 07 teve um valor 1127.327 m<sup>3</sup>/ano e este ficou, por volta, 2,5 vezes menor que o valor mais próximo do Chuí-RS encontrado por (TOLDO JUNIOR. *et al*, 1998), no qual encontrou uma taxa sedimentar de 2747.000 m<sup>3</sup>/ano. É difícil representar quais erros estão neste no naquele trabalho, acredita-se que ambos possam servir de parâmetros de comparações em análises futuras, pois a complexidade do transporte

sedimentar envolve uma diversidade de variáveis que nem todos os trabalhos conseguem atender as todas as exigências do ambiente.

Há ainda a ser considerada a direção dos setores em relação ao transporte resultante. Ficaram caracterizados, com exceção dos setores 01, 05 e 06, que os trechos que apresentam as maiores taxas são aqueles que apresentam maiores valores azimutais ou inversos (menor transporte são que apresentam menores valores de azimutes). Esta característica foi também constatada no trabalho (LIMA *et al*, 2001) onde setores com azimutes maiores tendem a transportar mais sedimentos.

O transporte de sedimentos demonstrou ser algo muito complexo e de grande dificuldade de estimar, pois ao mesmo tempo em que o setor 04 praticamente coincide com o valor de (TOLDO JUNIOR. *et al*, 1998), o setor mais ao sul, 07, difere e isso possa ser explicado pelas diferenças metodológicas, limitações do modelo, parâmetros ambientais e até mesmo o desconhecido.

## 6.5 ANÁLISE MORFODINÂMICA

Os setores de 1 a 7 tiveram suas análises quanto ao aspecto da acreção/erosão ou condição estável de sedimentos. Isto foi feita a partir das taxas de entrada e saída de cada setor. Desta forma, o setor 7 (e alguns casos) não puderam ser analisados por estarem na extremidade da costa e o fluxo resultante, unidirecional, não permitir o balanço, somente entrada ou saída. Nessa situação, quando ocorreu ficou determinado como sem análise. A tabela 17 exemplifica a condição de cada trecho.

Os valores positivos (+) representam ganho de sedimentos ou acreção, enquanto que valores negativos(-) significam perda de sedimentos ou erosão. As análises médias anual dos setores tiveram a seguinte classificação: Acreção correspondente aos setores 1, 3 e 6; Erosão aos setores 2, 4 e 5.

O potencial de transporte líquido dos setores, do maior para o menor foi: 4, 2, 7, 5, 1, 3 e 6, porém o de maiores resultantes de condição morfodinâmica (erosão/acreção) foram os trechos: 2, 3, 6, 1, 4, 5. Pode-se deduzir que os segmentos de costa com grandes potenciais de transporte não apresentam necessariamente grandes potenciais de alteração da condição morfológica, pois exemplificando: O setor 6 foi o que apresentou o menor valor de transporte líquido, mas o terceiro valor na quantificação de mudanças costeiras, no caso uma condição de acreção. É importante lembrar que o setor 6 (região do Concheiros) apresenta diversidade de classes de areia e é conhecido por haver erosão, mas neste trabalho considerou somente uma classe (areia com  $D_{50}=0,210\text{mm}$ ) e nestas condições teve tendência para acreção.

Percebeu também que os casos das Ondulações do quadrante sul-sudeste são determinantes para averiguar a situação da costa, principalmente a ondulação de SE que neste trabalho, sempre concidiu com os sinais da média anual total dos 5 cenários, parecendo ser mais determinante que as demais condições de mares.

Essas ondulações acabam por configurar, invariavelmente, uma seção ou seções que o fluxo do transporte sedimentar percorre, pois em alguns setores como: 1, 2, 5, 6 e 7 houve trânsito de sedimentos entre dois intervalos de cotas batimétricas, como

expostas na tabela 17. Isso pode ser explicado, possivelmente pela batimetria do lugar que favorece este tipo de movimento. Embora haja de se considerar uma limitação do modelo no aparecimento de fluxo de corrente além da zona de arrebentação, daí que esta tabela em alguns casos mostra seções de transporte que foram identificadas pela visualização da figura, nos quais seriam intervalos entre as batimétricas onde o modelo detectou transporte.

As ondas representativas dos casos Vaga de NE e o Caso complementar referente à Ondulação de ENE são significativas para o setor quando seus sinais são os mesmos, isto é, atuam para o mesmo sentido da costa, pois do contrário uma tende a anular a outra e como não são muito energéticas o líquido delas não contribui significativamente para alteração da região costeira.

O caso da vaga de S é análogo à condição de discordância de sentidos das vagas de ENE e o Caso C-Ondulação ENE. Mas seu valor de contribuição a acreção ou erosão é ainda menor, já que este caso é o que apresenta a menor quantidade de energia associado ao seu espectro. Isso é observável no movimento de fluxo de sedimentos que não ultrapassa a batimétrica de 1,5m.

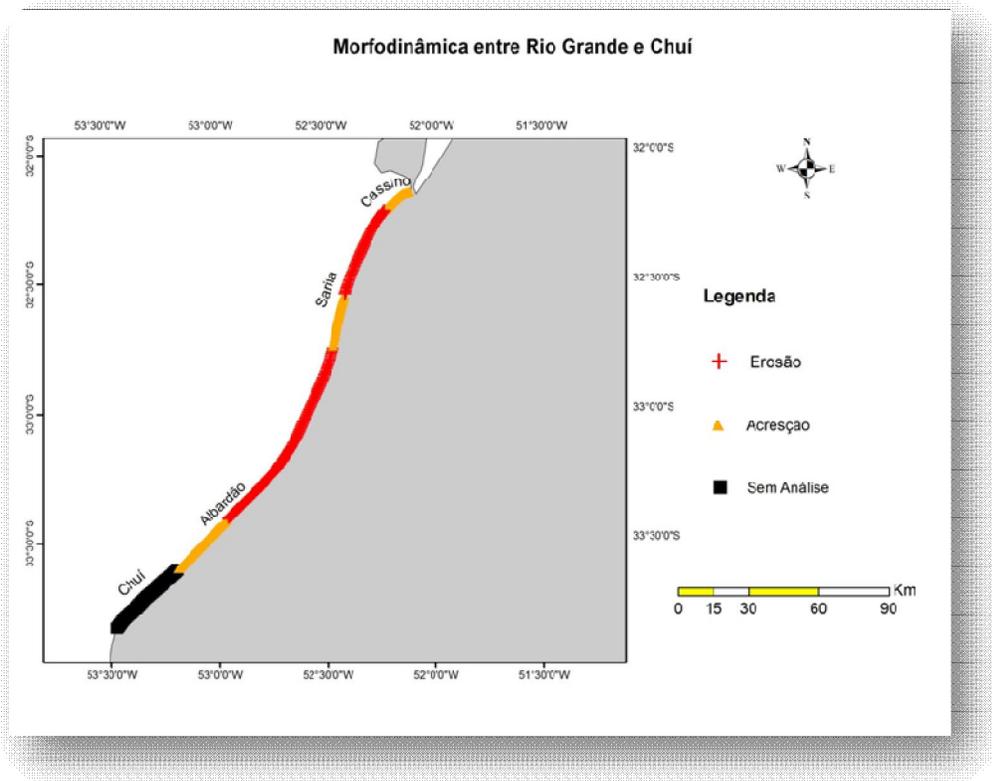
Analisando de modo amplo, o trabalho apresentou coincidência ou confirmações do que outros autores identificaram para os trechos da costa compreendidos entre Rio Grande e Chuí, pois no caso do Setor 01, neste trabalho ficou caracterizado como acreção e (SPERANSKI & CALLIARI, 2001) também identificaram trechos do Cassino apresentando trechos com esta condição. Outros autores como (TOLDO JUNIOR. *et al*, 1998) encontraram trechos no Cassino apresentando erosão e acreção, isto é possa ser que uma divisão da costa mais detalhada em trabalhos futuros possa a vir encontrar sítios erosivos que foram encontrados por este autor.

Nos setores 02, 04, 05 foi detectada como situação erosiva, pela qual esta já havia sido detectada por (TOLDO JUNIOR. *et al*, 1998) e isso pode reforçar a situação morfodinâmica nesses trechos de costa, embora seja importante lembrar que o setor 03 este mesmo autor considerou que a situação do lugar apresenta-se em estado de erosão e esta dissertação como de acreção. Contudo, autores como (SPERANSKI & CALLIARI, 2001) consideraram os setores 02, 03, 04 e 05 em condição estável, isto é, embora esta dissertação tenha considerado como situação de acreção, é importante destacar que o setor 03 apresentou a segunda menor taxa de transporte o que não significou um ganho de areia acentuada como nos demais setores de acreção.

Tabela 17: Análise Morfodinâmica

Setores	Condições de Mar	Direção das Malhas no Mopla	Profundidade de transporte (m)	Seção de fluxo (m)	Condição Morfodinâmica		
1	Vaga NE	131,27	0-2	566,55	451943,45 m³/ano/m	#	Sem análise
	Ondulação S	131,27	0-2/9-15	3830,43		-61852,75 m³/ano/m	Erosão
	Ondulação SE	131,27	0-2/9-16	3820,84		514652,35 m³/ano/m	Acresção
	Ondulação ENE	131,27	0-1,5	435,10		-215,89 m³/ano/m	Erosão
	Vaga de S	131,27	0-1	194,98	<b>ACRESÇAÇÃO</b>	-3,65 m³/ano/m	Estável
2	Vaga NE	148	0-5	669,79	-600586,21 m³/ano/m	-1154,30 m³/ano/m	Erosão
	Ondulação S	148	0-6/9-13	7103,80		-185749,05 m³/ano/m	Erosão
	Ondulação SE	148	0-6/9-14	7102,62		-414479,71 m³/ano/m	Erosão
	Ondulação ENE	148	0-3	560,23		215,89 m³/ano/m	Acresção
	/mVaga de S	148	0-1,5	171,79	<b>EROSÃO</b>	33,10 m³/ano/m	Acresção
3	Vaga NE	151	0-2	788,31	554330,61 m³/ano/m	819,93 m³/ano/m	Acresção
	Ondulação S	151	0-13	9639,61		19353,53 m³/ano/m	Acresção
	Ondulação SE	151	0-13	9638,78		535383,73 m³/ano/m	Acresção
	Ondulação ENE	151	0-2	640,35		-1167,53 m³/ano/m	Erosão
	Vaga de S	151	0-1	303,81	<b>ACRESÇAÇÃO</b>	66,61 m³/ano/m	Acresção
4	Vaga NE	150	0-3	601,38	-304774,03 m³/ano/m	-1578,74 m³/ano/m	Erosão
	Ondulação S	150	0-14	8286,19		241853,37 m³/ano/m	Acresção
	Ondulação SE	150	0-15	8286,25		-543525,68 m³/ano/m	Erosão
	Ondulação ENE	150	0-2	463,26		1105,48 m³/ano/m	Acresção
	Vaga de S	150	0-1	227,80	<b>EROSÃO</b>	2,85 m³/ano/m	Estável
5	Vaga NE	137,76	0-3	289,16	-289946,68 m³/ano/m	-583,26 m³/ano/m	Erosão
	Ondulação S	137,76	0-6/9-12	4573,74		-148119,28 m³/ano/m	Erosão
	Ondulação SE	137,76	0-6/9-13	4573,33		-144374,28 m³/ano/m	Erosão
	Ondulação ENE	137,76	0-2	261,86		-2521,32 m³/ano/m	Erosão
	Vaga de S	137,76	0-1	185,62	<b>EROSÃO</b>	-47,29 m³/ano/m	Erosão
6	Vaga NE	135	0-3	298,44	539396,32 m³/ano/m	1174,92 m³/ano/m	Acresção
	Ondulação S	135	0-6/9-13	4291,73		180060,98 m³/ano/m	Acresção
	Ondulação SE	135	0-6/9-14	4290,70		361893,76 m³/ano/m	Acresção
	Ondulação ENE	135	0-3	270,81		1440,52 m³/ano/m	Acresção
	Vaga de S	135	0-1,5	152,42	<b>ACRESÇAÇÃO</b>	-49,43 m³/ano/m	Erosão
7	Vaga NE	133,05	0-2	271,58	#	-182,47 m³/ano/m	Erosão
	Ondulação S	133,05	0-5/9-14	3975,26		#	Sem análise
	Ondulação SE	133,05	0-5/9-15	3974,95		#	Sem análise
	Ondulação ENE	133,05	0-2	252,00		-2325,63 m³/ano/m	Erosão
	Vaga de S	133,05	0-1	158,65	<b>Sem Análise</b>	#	Sem análise

A figura 141 mostra os setores que apresentam as condições morfodinâmicas da porção sul do Rio Grande do Sul (Rio Grande ao Chuí), de modo a sintetizar as informações esplanadas.



**Figura 141** Condição Morfodinâmica de Rio Grande ao Chuí

## 6.6 AVALIAÇÃO DO MODELO SMC E SUA APLICAÇÃO

O SMC é um software que pode ser aplicado em pequena ou grande escala espacial, isto é, em grande escala (na ordem de Km) como foi descrito neste trabalho o que ajuda a compreender o que pode estar acontecendo a nível regional. Mas pelas limitações na questão da batimetria, é interessante trabalhar em áreas de pequena escala, que por mais trabalhoso que possa ser os resultados podem ser mais precisos.

Esta questão é um fator importante, principalmente para o Brasil que adotou este modelo como avaliador da situação da costa quanto erosão/deposição. Este país sul americano possui uma extensão de pouco mais de 7400 km de costa e para poder fornecer um parecer favorável sobre que aspecto a costa brasileira se encontra, é recomendável se trabalhar em pequena escala.

É importante ressaltar que além da escala espacial, outras variáveis necessitam ser analisadas pelos operadores/usuários deste modelo, como:

- Batimetria- Dado fundamental que precisa ser mais bem mapeado, pois assim permitirá realizar os cálculos numéricos mais precisos na malha do modelo.
- Máquinas e Sistema Operacional- Há necessidade de computadores potentes que lhe de suporte na computação, por meio das simulações do modelo ou mesmo interpolação de batimetria. Outra necessidade é a verificação quanto ao Sistema Operacional instalado na máquina, neste trabalho de dissertação foi utilizado o Windows 7, mas em alguns momentos ficou a sensação que poderia estar ocorrendo alguns conflitos entre o software e o computador.
- Variáveis naturais- O Brasil apresenta dimensões continentais e cada uma com a sua particularidade. Nesta dissertação os casos foram simulados na região sul (precisamente sul do Rio Grande do Sul) e esta têm suas características típicas de difícil mensuração como: sangradouros, frentes frias, maré meteorológica, correntes oceânicas, efeitos globais como El niño/La ninã entre outras que podem influenciar a costa, mas que não se consegue ou é muito difícil inserir ou avaliar seus efeitos. Esta situação é somente em nível de sul do Brasil, nas outras regiões há outras características que dificultam o estudo como: ventos alísios, maré astronômica, pororoca etc. Acredita-se que o mais sensato seria não negligenciar outras informações que possam contribuir com o estudo da costa, já que o modelo não engloba todas e conseqüentemente não se pode atribuir todas as exigências ao software. Entretanto é importante exigir de certo modo combinação de metodologias a fim de cercar ao máximo todas as limitações e realizar a melhor análise do ambiente natural.

Durante as simulações e as observações dos resultados nesta dissertação, percebeu que os mesmos não estão apresentando uma saída satisfatória dos resultados, podendo ser uma limitação apenas gráfica, mas também de cálculo numéricos. Como exemplo cita-se as correntes longitudinais em que apresentaram vetores correntes muito além da zona de arrebetanção e isso não está correto, de acordo com a literatura especializada.

Há ainda algumas dificuldades ou conflitos na inserção de estruturas costeiras na parte de edição do modelo, pois mesmo seguindo as etapas do manual nem sempre estas obras são colocadas depois da regeneração da batimetria. Nesta dissertação houve um trabalho intenso e cansativo para conseguir obter o resultado da inclusão dos molhes de Rio Grande na praia do Cassino-RS.

## 7 CONCLUSÃO

A área estudada neste trabalho utilizou técnicas no campo (prática) e pós-campo (nos laboratórios) a fim de estabelecer um comportamento do padrão sedimentar da região de interesse. A modelagem costeira utilizou o *software* SMC e estabeleceu uma alternativa de estudar áreas com grandes dimensões com tempos mais diminutos.

Nos setores estabelecidos neste trabalho, observou-se que eles apresentam direção de transporte resultante para nordeste e essa situação é devido as grandes ondulações de S/SE. Mas, também, apresentam transporte para sudoeste quando Vagas ou Ondulações de E/NE atuam, ou seja, todos os trechos podem apresentar transporte bidirecional.

As ondas do quadrante sul-sudeste são as principais responsáveis por transportar grandes quantidades de sedimentos, principalmente no inverno ou em situações de tempestades costeiras quando a frequência delas são maiores. Essas ondulações mostraram que são as que mais têm potencial de mudanças na região costeira no estado do Rio Grande do Sul, apresentando as maiores taxas de transporte de areia.

A formação da corrente longitudinal para a costa do estado do Rio Grande do Sul é determinante para o fluxo dos sedimentos, pois com a incidência oblíqua dos trens de onda favorecem a refração das mesmas e conseqüentemente a sua origem. A deriva litorânea é responsável por grandes quantidades de areia conforme foi encontrado pelo SMC.

Os resultados encontrados para o período de um ano visam contribuir no campo da engenharia oceânica nos possíveis projetos que possam ser instalados na região, uma vez que esses resultados do transporte de areia podem contribuir na avaliação das condições ambientais de uma obra costeira.

A simulação numérica realizada utilizou de grande esforço computacional, mesmo assim não significou total exatidão nos resultados, embora estes sejam valores aceitáveis se comparados a outros trabalhos disponíveis na literatura.

O potencial de transporte de areia (em  $m^3/ano/m$ ) resultante para toda a porção sul do estado, Rio Grande ao Chuí, é expressa nos Setores 01 a 07 e foi de 776.964; 1228.907; 628.321; 1182.652; 877.878; 587.931; 1127.327, respectivamente.

Com relação a esses resultados, constatou que a determinação das direções dos setores é importante para análise do transporte de areia, pois, com exceção dos setores 01, 05 e 06, os trechos que apresentam as maiores taxas são aqueles com maiores valores azimutais ou inversos (menor transporte são que apresentam menores valores de azimutes). No trabalho de percebida esta característica, em que setores com azimutes maiores tendem a transportar mais sedimentos.

A utilização dos cenários ou *clusters* propostos no trabalho de ROMEU *et al*, 2010, mostraram-se eficientes numa extrapolação anual de transporte de sedimentos como foi o caso deste trabalho.

Esta utilização dos cenários economiza tempo e recursos financeiros, pois evita fazer coletas de campo repetidas ou mesmo coletas de dados em condições de mares em que há muita mistura de ondulações no espectro de frequência que dificultariam extremamente a análise dos dados.

## 8 PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Ao longo da dissertação de mestrado ficou claro que a busca por dados espaciais é uma tarefa trabalhosa e cansativa e que nem sempre se dispõe do material necessário para realização do trabalho. Aqui neste trabalho foi baseado em muitas informações batimétricas oriundas das cartas náuticas cedida pela DHN (diretoria de hidrografia e navegação), mas essas informações são produtos interpolados e com o passar dos anos tornam-se defasados.

Acredita-se que seja necessário criar um banco de dados espaciais, principalmente batimétricos (e outras variáveis como a topografia) através de bóias, navios ou mesmo técnicas de sensoriamento remoto, pois assim serviria de suporte para estudos mais aprofundados e precisos para diversos segmentos dentro da área das ciências da terra. Talvez este histórico de dados seja uma carência de todo o país, mas que precisa ser solucionada.

O setor 06, área compreendida na região dos Concheiros, apresenta diversas classes sedimentares e esta característica pode ser determinante para a atuação das ondas no lugar. Seria interessante haver um trabalho futuro nesta região a fim de examinar estas questões específicas e poder obter um parecer mais preciso dos fenômenos e dos processos que ocorrem.

O Sistema de Modelagem Costeiro (SMC) pareceu ser um software eficiente para estudos da dinâmica sedimentar no ambiente costeiro, mas ele não utiliza classes sedimentares inferiores a areia. Portanto em trabalhos futuros haverá necessidade de equacionar este problema e tentar incrementar as classes da argila e de silte, pois assim contribuirá de modo mais preciso para entender a dinâmica do ambiente, principalmente na região do Cassino.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. E. S. B. LIMA, TOLDO JUNIOR, Elirio. E. GRUBER, N. L. S. Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral norte do Rio Grande do Sul. **Revista da Associação Brasileira dos Recursos Hídricos – ABRH**. 8p. 1999

ARAÚJO, Rosane de O. Simões. Caracterização sedimentar lateral e transversal da praia dos Concheiros do Albardão, Rio Grande, 2002. 148p. Dissertação de mestrado, FURG-Universidade Federal do Rio Grande.

CALLIARI, Lauro Julio. Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da lagoa dos Patos, Porto Alegre, 1980. 190p. Dissertação de Mestrado, UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CALLIARI, Lauro Julio. KLEIN, Antônio Henrique da Fontoura. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Pesquisas em Geociências**, 20(1). 48-56. 1993

COLI, Alexandre Braga. Estudo do clima ondulatório em Rio Grande, RS. Dissertação de Mestrado. FURG. Rio Grande. 76p. 2000.

CUCHIARA, Débora. FERNANDES, Elisa Helena. STRAUCH, João Carlos. CALLIARI, Lauro Julio. Determination of the waves climate for the southern brazilian shelf. **Continental Shelf Research** 29 (2009) 545-555. 2009

FOLK, Robert Louis & WARD, William C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of sedimentary Petrology** 27 (1): 3-26. 1957

FONTOURA, José Antônio. Scotti. Hidrodinâmica Costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da barra do Rio Grande, RS. Brasil. 2004. 281p. Tese de Doutorado – Cursos de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Departamento de Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande.

GIOC, Coastal Modelling System (SMC)– Reference and User Manual. State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria. 2003a. Spain. 2003. 82p (in Spanish).

GIOC, Spectral Wave Propagation Model (Oluca-SP). State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria. 2003b. Spain. 2003. 170p (in Spanish).

GIOC, Wave Induce Currents Model in the Surf Zone (Copla-SP). State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria, 2003c. Spain. 2003. 61p (in Spanish).

GIOC, 2DH-Morphodynamic Evolution Model for Near Shore Areas (MOPLA). State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria. 2003d. Spain. 2003 262p (in Spanish).

GIOC, Erosion and Sedimentation Evolution Model (Eros). State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria. 2003e. Spain. 2003. 55p (in Spanish).

GONZÁLEZ, M. MEDINA, R. GONZÁLEZ-ONDINA, J. OSORIO, A. MÉNDEZ, F. J. GARCÍA, E. An integrated coastal modelling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, SMC. **Comput. Geosci.** 33 (7), 916–931. 2007

GOULART, E. S. & CALLIARI, L. J. Mapeamento batimétrico detalhado do banco das Três Marias. In: **III Congresso Brasileiro de Oceanografia, Fortaleza. CBO.** 2008

HALLERMEIER, Robert J. “Uses for calculated limit depth to beach erosion.” In: **16th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers**, 1493-1512. 1978

HERZ, Renato. Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos. 1977. 722p. Tese de Doutorado - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP-Universidade de São Paulo.

KIRBY, James T. and DALRYMPLE, Robert A. “A parabolic equation for the combined refraction-Diffraction of Stokes waves by Mildly Varying Topography,” **J. Fluid Mech.**, 136, PP.543-566. 1983

KRAUS, Nicholas C. Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rate in the surf zone. **Journal of Coastal Research**, 3: 139-152. 1987

LANFREDI, Néstor. W. FRAMIÑAN, Mariana B. Field Study and prediction of longshore currents, Argentine Coast. **Journal of Coastal Research**, 2: 409-417. 1986

LIMA, Savio Freire. ALMEIDA, Luiz Emilio S. B. TOLDO JUNIOR, Elirio E. Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul, **Revista Pesquisa em Geociências**, 28(2): 99-107. 2001

MELO, Fº. Eloi. Projeto Sentinelas do Mar. Guia de Observação. COPPE – UFRJ. 12p. 1991

MOTA, Victor Freire. Estudo em modelo reduzido para a regularização da embocadura Lagunar de Tramandaí, RS. Instituto de pesquisas Hidráulicas, UFRGS- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1967

MOTA, Victor Freire. Relatório-diagnostico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela Barra do Rio Grande. Porto Alegre. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, , UFRGS- Universidade Federal do Rio Grande do Sul.114. 1969

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). Dados de onda para a cidade de Rio Grande. Disponível em: < [ftp://polar.ncep.noaa.gov/pub/waves/latest\\_run/](ftp://polar.ncep.noaa.gov/pub/waves/latest_run/)>.

NIMER, Edmon. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 2. Ed., 1989, 421p. 1989

PEREIRA DA SILVA, R. Comportamento morfodinâmico dos sangradouros entre a praia do Cassino e Chuí, RS. 1995. 43p. Monografia de Graduação, FURG, Rio Grande

PEROTTO, Heitor. Preenchimento de falhas de dados de ondas e cálculo da profundidade de fechamento para a região de Tramandaí, Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010. 48p. Dissertação de mestrado, UFRGS-Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

POMERANCBUM, M. & COSTA, M. P de A. Integração de informações sobre os minerais pesados na plataforma continental brasileira. In: **Anais, 26º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. SBG. 2: 179-186. 1972**

ROMEU, Marco Antônio Rigola. FONTOURA, José Antônio Scotti. MELO, Eloi. HAMMES Guilherme. Estimativa dos cenários característicos de agitação marítima para a região oceânica do RS utilizando dados de reanálise do modelo WW3. Anais 4º Seminário e Workshop em engenharia Oceânica. Rio Grande.14p. 2010.

SANTO, Renato Mendes Espírito. Variabilidade morfodinâmica entre as regiões da Querência e do navio Altair na praia do Cassino, RS. 2007. 147p. Dissertação de Mestrado. FURG- Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande,

SEELIGER, Ulrich. Coastal foredunes of southern Brazil: physiography, habitats and vegetation. In: **Seeliger, U. (ed) Coastal Plant Communities of Latin America. Academic Press, San Diego, p.367-381. 1992**

SERPA, Christian Garcia. Estudo da influência dos fatores climáticos e hidrológicos no ciclo morfodinâmico praias de um sangradouro intermitente, Praia do Cassino, Brasil. 2008. 97p. Dissertação de Mestrado. FURG- Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande

SHORT, A. D. & HESP, P. A. Wave, Beach and Dune Interactions in Southeastern Australia. *Marine Geology*, 48: 259-284. 1982

SIEGLE, Eduardo. Distribuição de sedimentos litorâneos entre o farol da Conceição e o farol do Chuí, RS, e fatores condicionantes. 1996. 91p. Monografia de Graduação, FURG, Rio Grande.

SOULSBY, R. "Dynamics of marine sands". Thomas Telford Publications, Londres. 1997

SPERANSKI, Nikolai & CALLIARI, Lauro Julio. Padrões de Refração para a Costa do RS e Erosão Costeira. 2001

SPROVIERI, Felipe Caetano. Experimentação Numérica do Potencial Hidrodinâmico e do Transporte de Sedimentos na Praia do Cassino e Molhe Oeste da Barra de Rio Grande (RS), Utilizando os Métodos do Hipercubo, Fluxo de Energia e o Modelo SMC. 2011. 206p. Dissertação de Mestrado, FURG, Rio Grande,

STRAUCH, João Carlos. Um ano de monitoramento de ondas em Rio Grande. XI Semana Nacional de Oceanografia, FURG- Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Oceanografia e suas interfaces, resumos expandidos. 1998

TOLDO JUNIOR, Elirio E. ALMEIDA, Luiz E. S. B. NICOLODI, João L. MARTINS, Luiz R. Erosão e Acresção da Zona Costeira do estado do Rio Grande do Sul. In: **XI SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, Oceanografia e suas interfaces - resumos expandidos Rio Grande**, p. 457-459. 1998.

TOMAZELLI, L. J. & VILLWOCK, J. A. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 19(1): 3-12. 1992

TOMAZELLI, L. J. & VILLWOCK, J. A. O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul. In: **Holz, M & de Ros, L. F. Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO/UFRGS, Porto Alegre**, p.375-406. 2000

TOMAZELLI, L. J. & VILLWOCK, J. A. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: o Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. **Gravel**, p.109-115. 2005

TOZZI, H. A de M. & CALLIARI, L. J. Morfodinâmica da praia do Cassino, RS. Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre. **Pesquisas em Geociências**, 27 (1): 29-42. 2000

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. Coastal Engineering Manual - Part III. In: **Chapter 6. Sediment Transporte Outside The Surf Zone**. 72p. 2002

VARA, S. S. Da.. Análise numérica da propagação de ondas na costa do Rio Grande do Sul entre Arroio Chuí e Sarita. 2012.186p Dissertação de Mestrado, Curso de Engenharia Oceânica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande.

WAINER, I. J. Análise e Previsão das Alturas de onda em Tramandaí. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, 1963

WANG, P.; KRAUS, N. C.; DAVIS, R. A. Jr.. Total longshore sediment transport rate in the surf zone: Field measurements and empirical predictions. **Journal of Coastal Research**, 14: 269-282. 1998

## **10 ANEXOS**

Os dados abaixo são referentes: as ondas, correntes, vento e sedimentos das coletas.

Coleta	Data da coleta	Tipo de mar	Cenário	Dados WW3 (águas profundas)				Lei de Snell *	
				Hora (h)	Hs (m)	Tp (s)	Dp (°)	Hs (m)	Dp (°)
1 <sup>a</sup>	12/03/2011	Vaga ENE	B	15:00	3,6	9,0	62	2,2011	86
3 <sup>a</sup>	07/05/2011	Ondulação S	E	12:00	5,8	15,8	194	4,5954	160
5 <sup>a</sup>	29/05/2011	Ondulação SE	F	12:00	5,4	12,8	145	5,2213	141
-	-	Ondulação ENE	A	-	2,5	8,3	75,5	1,8941	89
-	-	Vaga S	D	-	2,5	5,4	178	2,3599	177

Coleta	Condição de mar			Vento		Corrente	
	Cenário	Dp (°)	Tp (s)	Direção (°)	Vm (m/s)	Direção	Vm (m/s)
1 <sup>a</sup>	B	62	9,4	80	8,02	SW	0,40
3 <sup>a</sup>	E	194	15,8	30	3,67	NE	0,05
5 <sup>a</sup>	F	145	12,8	170	2,84	SW	0,26

Coleta	Distância (m)									
	Com início (0) nas dunas					Com início (0) na linha d'água (m)				
	Dunas-BI	BI-E4	E4-E3	E3-E2	E2-E1	Dunas-BI	BI-E4	E4-E3	E3-E2	E2-E1
1 <sup>a</sup>	206	226	256	276	296	0	20	50	70	90
3 <sup>a</sup>	127,5	147,5	211,5	231,5	251,5	0	20	84	104	124
5 <sup>a</sup>	158,4	208,4	252,4	272,4	275,4	0	50	94	114	117

Coleta	Áreas (m <sup>2</sup> )				
	BI-E4	E4-E3	E3-E2	E2-E1	Total
1 <sup>a</sup>	3,00	10,00	11,00	13,00	37,00
3 <sup>a</sup>	2,50	57,50	36,50	37,00	133,50
5 <sup>a</sup>	28,50	62,50	32,50	9,00	132,50

COLETA / DATA / HORÁRIO		1ª / 12-03-11 / 15-19h				TOTAL HORIZONTAL
ESTAÇÃO		E4	E3	E2	E1	
TEMPO (min)		5	5	5	5	
Distribuição vertical e horizontal do transporte de sedimento em cada trap (distância do fundo em m) (peso em g)	t10 (1,26)	-	-	-	1,68	1,68
	t9 (1,13)	-	-	-	2,82	2,82
	t8(1,00)	-	-	19,13	1,47	20,6
	t7(0,87)	-	-	68,98	21,74	90,72
	t6(0,74)	-	-	178,51	94,02	272,53
	t5(0,61)	-	1,73	320,95	142,7	465,38
	t4(0,48)	-	33,36	502,81	91,54	627,71
	t3(0,35)	4,22	181,31	510,26	106,2	801,99
	t2(0,22)	7,29	312,41	91,05	114,43	525,18
t1(0,09)	36,41	163,46	493,35	464,99	1158,21	
<b>TOTAL VERTICAL</b>		47,92	692,27	2185,04	1041,59	3966,82

COLETA / DATA / HORA		3ª / 07-05-11 / 9-13h				TOTAL HORIZONTAL
ESTAÇÃO		E4	E3	E2	E1	
TEMPO (min)		5	5	5	5	
Distribuição vertical e horizontal do transporte de sedimento em cada trap (distância do fundo em m) (peso em g)	t10 (1,26)	-	-	-	-	0
	t9 (1,13)	-	-	6,0927	7,8610	13,9537
	t8(1,00)	-	-	19,8362	35,0909	54,9271
	t7(0,87)	-	-	76,3081	137,6799	213,988
	t6(0,74)	-	41,8256	200,7980	327,0706	569,6942
	t5(0,61)	-	169,5318	122,7113	373,0802	665,3233
	t4(0,48)	-	-	168,4872	293,9742	462,4614
	t3(0,35)	106,5053	167,9170	307,7968	404,6617	986,8808
	t2(0,22)	822,3184	367,1399	280,1266	446,9207	1916,5056
t1(0,09)	112,1917	194,9634	162,4334	439,1318	908,7203	
<b>TOTAL VERTICAL</b>		1041,0154	941,3777	1344,59	2465,471	5792,4544

COLETA / DATA / HORA		5 <sup>a</sup> / 29-05-11 / 9-13h				TOTAL HORIZONTAL
ESTAÇÃO		E4	E3	E2	E1	
TEMPO (min)		5	5	5	5	
Distribuição vertical e horizontal do transporte de sedimento em cada trap (distância do fundo em m) (peso em g)	t10 (1,26)	-	-	1,4854	3,1861	4,6715
	t9 (1,13)	-	10,7284	11,9972	4,1834	26,909
	t8(1,00)	-	58,3790	25,8964	4,0158	88,2912
	t7(0,87)	-	140,9797	66,6272	7,0350	214,6419
	t6(0,74)	-	267,1932	85,5773	3,4284	356,1989
	t5(0,61)	-	-	24,2554	7,5276	31,783
	t4(0,48)	-	182,8501	22,4049	11,1876	216,4426
	t3(0,35)	70,4955	539,5104	46,0893	38,5899	694,6851
	t2(0,22)	313,7742	835,4382	32,5367	31,3477	1213,0968
	t1(0,09)	1353,9724	855,5070	236,6239	81,8402	2527,9435
<b>TOTAL VERTICAL</b>		1738,2421	2890,586	553,4937	192,3417	5374,6635

 Rede rasgou, logo não foi possível obter o peso desses traps.