

Estudo sedimentolóxico en poboacións de *Zostera noltii* Hornem. da Guarda e A Ramallosa

Susana Misa Villar & Juan José Hermida

Autor para correspondencia: juan.hermida.lago@gmail.com

Como citar este artigo: Misa Villar, S. & J.J. Hermida (2023). Estudo sedimentolóxico en poboacións de *Zostera noltii* Hornem. da Guarda e A Ramallosa. *Revista Estudos Miñoráns* 23: 14-30

Resumo

As pradarias mariñas son un importante elemento dos ecosistemas mariños costeiros, realizando funcións como o mantemento do equilibrio sedimentario litoral ou participando no proceso de remineralización aerobia de carbono. A pesar da súa importancia, nos últimos anos acadaron perdas de ata o 7% do territorio que ocupaban, principalmente a consecuencia de actividades humanas. Unha das especies que conforma estas pradarias, abundante na costa galega, é *Zostera noltii*, a cal habita en zonas estuariñas onde só se ve somerxida durante as preamares e é moi sensible a posibles cambios sobre o sedimento no que se asenta. Dúas das poboacións galegas de *Zostera noltii* atópanse na Guarda e na Ramallosa, sendo esta de moito maior tamaño que a anteriormente mencionada. Estudouse o grao de exposición á marea de ámbalas poboacións e caracterizouse o substrato no que habitan, incluíndo a súa análise granulométrica, así como a determinación do contido en bioclastos e materia orgánica. Os resultados indican a existencia de diferenzas tanto no grao de exposición á marea como no contido de materia orgánica e o tamaño de gran do sedimento.

Palabras clave: *Zostera noltii*, análise sedimentolóxica, calcimetría, granulometría.

Introdución

As fanerógamas mariñas son un grupo de anxiospermas adaptadas á vida no mar que inclúen membros de distintas familias e poden atoparse formando pradarias monoespecíficas ou mixtas, principalmente en esteiros (figura 1). Estas

Abstract

Seagrass meadows are an important element of coastal marine ecosystems, performing functions such as maintaining coastal sedimentary equilibrium or participating in the carbon aerobic remineralization process. Despite their importance, in recent years they have achieved losses of up to 7% of the territory they occupied, mainly as a result of human activities. One of the species that makes up these prairies, abundant on the Galician coast, is *Zostera noltii*, which inhabits estuarine areas where it is only submerged during pleamares and is very sensitive to possible changes over the sediment in which it sits. Two of the Galician towns of *Zostera noltii* are located in A Guarda and A Ramallosa, this being of much larger size than the one mentioned above. The degree of exposure to the tide of both populations has been studied and the substrate in which they inhabit has been characterized, including their grain size analysis, as well as the determination of the content in bioclasts and organic matter. The results indicate differences in both the degree of tidal exposure and organic matter content and the sediment grain size.

Keywords: *Zostera noltii*, sedimentological analysis, calcimetry, granulometry.

pradarias mariñas constitúen un importante compoñente nos ecosistemas mariños costeiros, proporcionando bens e servizos ás poboacións humanas costeiras. Entre eles destacan: lugar de cría e refuxio de especies obxecto de pesca, protección da costa contra a erosión, diminución da turbidez da auga e sumidoiro de contaminantes, tales como

metais pesados. Tamén axudan a manter o equilibrio sedimentario do litoral, xa que as súas follas reducen o hidrodinamismo e os rizomas deteñen o sedimento (Piñeiro-Juncal *et al.*, 2021). Igualmente, as aves migratorias utilizan pradarias mariñas como áreas de descanso e fontes de alimento durante as súas viaxes (Vales *et al.*, 2021). Destaca, ademais, a capacidade destas pradarias para reter dióxido de carbono da atmosfera, atenuando o cambio climático (Piñeiro-Juncal *et al.*, 2021).



Figura 1. Pradaria mariña de *Z. noltii* (A Ramallosa)

As anxiospermas mariñas inclúen membros das familias *Zosteraceae*, *Cymodoceaceae*, *Posidoniaceae*, *Hydrocharitaceae*, *Ruppiaaceae* e *Zannichelliaceae*, englobando unhas 60 especies pertencentes a 12 xéneros diferentes (González *et al.*, 2006). Concretamente, nas costas españolas crecen 7 especies distintas: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*, *Halophila stipulacea*, *Ruppia maritima*, *Ruppia cirrhosa* e *Zostera noltii* (Piñeiro-Juncal *et al.*, 2021).

En canto á súa localización, Galicia é unha das comunidades autónomas onde se poden atopar pradarias mariñas, grazas ao gran número de estuarios existentes e á particular morfoloxía e hidrodinamismo dos fondos das rías, especialmente comúns na súa ampla liña de costa. En Galicia existen tres especies diferentes de anxiospermas: *Zostera noltii* e *Zostera marina*, comúns en zonas intermareais de augas tranquilas, e *Ruppia maritima*, cuxa presenza é moito máis reducida e asociada a substratos areosos de augas salobres. Entre as poboacións destas especies na comunidade galega encóntranse os mellores zosterais da costa cántabro-atlántica española, tanto pola súa extensión como polo seu grao de conservación, especialmente nas Rías Baixas. Estes zosterais atópanse moitas veces ameazados pola súa proximidade a núcleos urbanos densamente poboados, en áreas polo tanto sometidas a unha gran presión antrópica, principalmente pola pesca e o marisqueo; esta presión ambiental ocasiona xeralmente unha redución da extensión e calidade das pradarias (Cacabelos *et al.*, 2015).

A pesar do seu elevado valor medioambiental, as pradarias de anxiospermas mariñas son un dos ecosistemas máis ameazados da Terra, con perdas globais que acadaron taxas de ata o 7% de territorio por ano; isto provocou que actualmente existan numerosas especies cun elevado

risco de extinción, varias delas na categoría de ameazadas. Estímase que durante o século XX perdeuse unha terceira parte da área que ocupaban, debido a causas naturais e impactos humanos, tales como o cambio climático, o cal é unha ameaza para as pradarias debido ao aumento da frecuencia e intensidade das tempestades e ao aumento das temperaturas, que poden causar impactos negativos nestes ecosistemas. Emporiso, as tendencias á súa desaparición revertéronse a comezos do século XXI grazas á recolonización das anxiospermas nalgúns lugares, xunto coa desaceleración das perdas do conxunto das especies que conforman estas pradarias (Vales *et al.*, 2021).

Como xa foi mencionado, unha das especies que conforman estas pradarias mariñas é *Zostera noltii*. Esta especie é de suma importancia no proceso de remineralización aerobia, pois as áreas cubertas por pradarias de *Z. noltii* constitúen o hábitat idóneo para especies de foraminíferos que contribúen á remineralización aerobia de carbono. Este proceso pode representar ata un 7% da absorción difusa de osíxeno, case 5 veces máis que a contribución máxima rexistrada en ambientes mariños abertos (Cesbron *et al.*, 2011). *Z. noltii* funciona, ademais, como alimento e refuxio para diversas especies de invertebrados e peixes, e posúe a capacidade de estabilizar o sedimento no que se asenta, impedindo desprendementos e atenuando a erosión costeira (Bernard *et al.*, 2014).

En España atópanse numerosas áreas cuxo substrato e características medioambientais cumpren cos requirimentos necesarios para o desenvolvemento de *Z. noltii* (figura 2). Obsérvase que *Z. noltii* atópase formando extensas pradarias monoespecíficas en sedimentos intermareais en zonas pouco expostas, habitualmente asociadas á desembocadura dun río. Pode atoparse, ademais, formando pradarias mixtas con *Zostera marina*, atopándose ben adaptadas ás condicións extremas ás que é sometida durante os períodos de emersión. *Z. noltii* está presente na maioría de estuarios do norte de España, así como nas rías do País Vasco, aínda



Figura 2. Mapa de distribución de *Z. noltii* en España (indicada en vermello). "Atlas praderas marinas", Instituto Español de Oceanografía (Cacabelos *et al.*, 2015).

que na actualidade non se pode atopar na maioría dos seus ecosistemas estuariños principais e é a única especie de fanerógamas mariñas presente nesta rexión (Valle, 2014).

Concretamente en Galicia (figura 3), sendo unha das comunidades españolas con maior presenza de *Z. noltii*, a poboación desta planta foi perdéndose rapidamente nos últimos anos. Cochón (2004) describiu na Ría de Pontevedra que a extensión de sedimentos costeiros ocupados por *Z. noltii* diminuíu nun 11,9% entre os anos 1947 e 2001. Este feito atribúese principalmente a causas humanas, concretamente aos recheos realizados para gañar terreo ao mar para a ampliación de portos ou terreos industriais.



Figura 3. Mapa de distribución de *Z. noltii* na Ría de Pontevedra (indicada en vermello). "Atlas praderas marinas", Instituto Español de Oceanografía (Cacabelos *et al.*, 2015)

En canto á súa morfoloxía, *Z. noltii* é unha planta herbácea e perenne, está formada por un rizoma horizontal de menos dun milímetro e medio de grosor que posúe longos internós dos que crecen raíces non ramificadas e follas estreitas e alongadas de lonxitude variable, ata 20 cm de longo e 0,15 cm de ancho, que se agrupan en feixes (figura 4). As súas flores son unisexuais, alternando entre flores masculinas e femininas, as primeiras constituídas por un único estame sésil e as segundas por un ovario unilocular. O seu froito ten un tamaño duns 2 mm aproximadamente e contén unha única semente, a floración é relativamente frecuente; prodúcese principalmente en verán e outono, pero, a pesar diso, a propagación da especie baséase fundamentalmente no desenvolvemento vexetativo dos rizomas máis que na xerminación de sementes.



Figura 4. Exemplares de *Z. noltii* (A Ramallosa)

Para que *Zostera noltii* poida desenvolverse correctamente, o substrato no que se encontra precisa ter unha serie de características específicas, xa que é moi sensible aos seus cambios. Crece en solos moi húmidos e de densidade elevada en territorios planos, descubertos tan só nas baixamares, cun substrato areoso ou areoso-lodoso; este tipo de terreos atópanse principalmente nas zonas externas dos estuarios (González *et al.*, 2006). Tamén inflúen no seu desenvolvemento outros factores, como a luz; *Z. noltii* crece en lugares moi iluminados pero tamén soporta a sombra, precisa dunha calor moderada, un pH de 5,5-8 e non está presente en solos moi fertilizados. *Z. noltii* é unha das especies de anxiospermas mariñas que mellor tolera as influencias das actividades humanas, como o marisqueo ou o tránsito marítimo, que modifican fortemente o fun-



Figura 5. Mapa da presenza de *Z. noltii* na Guarda (indicado en verde). "Atlas praderas marinas", Instituto Español de Oceanografía (Cacabelos *et al.*, 2015).

cionamento das pradarías mariñas das distintas especies; ademais, pode tolerar auga a elevadas temperaturas (ata 37 °C) (Guerrero-Meseguer *et al.*, 2021).

Na Guarda, Pontevedra, existe unha pequena poboación de *Z. noltii*, a cal ocupa actualmente unha extensión moi reducida, de 0,0127 ha de superficie medida en 2021 (Martín, 2022), con respecto á indicada no último atlas realizado, “Atlas de las praderas marinas de España”, onde se estimaba unha extensión de 9,3 ha no ano 1997 (Cacabelos *et al.*, 2015) (figura 5). Dedúcese, polo tanto, que nos últimos 24 anos produciuse unha diminución de máis do 99% da superficie ocupada por *Z. noltii*. Na figura 6 móstrase unha imaxe comparativa do cambio que sufriu a zona de estudo dende o ano 1983 á actualidade. Esta forte diminución da poboación podería, ademais, ocasionar unha importante perda de diversidade xenética; porén, a pesar do seu pequeno tamaño, presenta unha maior variabilidade xenética que outra poboación de moito maior tamaño situada na Ramallosa. Sendo a heterocigosidade esperada da poboación da Guarda de $0,314 \pm 0,008$ e a da Ramallosa de $0,281 \pm 0,008$ (Martín, 2022).

A poboación da Guarda atópase, concretamente, na praia do Codesal (na marxe norte do río Miño), a cal presenta un grao baixo de urbanización e conta cun substrato de area-grava (Hermida, 2017). A altitude das mareas varía entre os 2,3 e os 4,1 m, a temperatura media anual é de 14,7 °C con valores que van dende os 9,5 °C



Figura 6. Comparación da zona de estudo da Guarda entre outubro de 1983 (imaxe superior) e a actualidade (imaxe inferior). A fotografía superior foi facilitada por ANABAM.

en inverno ata os 20,5 °C en verán (datos extraídos de Meteogalicia: <https://www.meteogalicia.gal/web/prediccion/maritima/mareasIndex.action>).

Por outra banda, na Foz do río Miño, na Ramallosa, atópase unha poboación de *Z. noltii* que se estende pola maior parte do complexo intermareal (figura 7). O complexo presenta características dinámicas de baixa enerxía e é unha zona estuariña, pois nel obsérvase a confluencia entre correntes fluviais e mariñas, e presenta, en xeral, un substrato máis lodoso. O rango mareal nesta costa oscila entre os 2 e os 4m, clasificando a zona como mesomareal. O clima é de tipo mediterráneo-marítimo, con abundantes precipitacións e unha temperatura media anual de 14,9 °C, con valores que oscilan entre os 20,0 °C e os 10,2 °C (Alejo *et al.*, 1990).

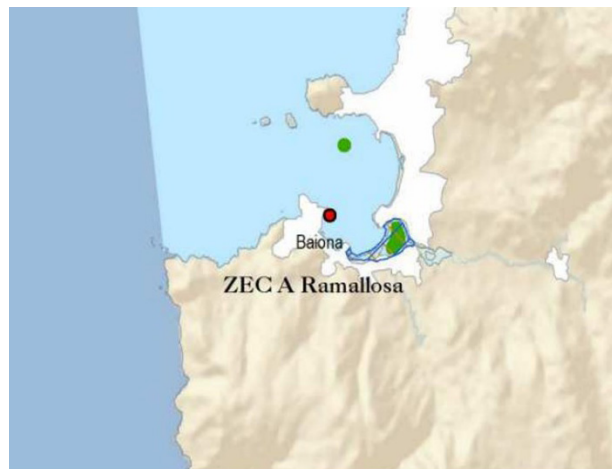


Figura 7. Mapa de distribución de *Z. noltii* na Ramallosa (indicado en verde). “Atlas praderas marinas”, Instituto Español de Oceanografía.

Por todo o anteriormente exposto propónse a hipótese de que a diminución da poboación de *Z. noltii* na Guarda pode estar ocasionada por cambios nas características do sedimento. O obxectivo deste traballo é realizar unha comparación das pradarías de *Z. noltii* da Guarda e da Ramallosa. Realizouse unha medición do grao de exposición á marea das poboacións de *Z. noltii*, así como unha análise sedimentolóxica do sedimento no que crecen, na que se inclúe: análise composicional (relación bioclastos/siliciclastos), materia orgánica e análise do tamaño de gran do sedimento.

Material e métodos

Recolléronse 4 mostras de sedimentos na Guarda e 4 na Ramallosa, utilizando tubos de PVC de 9 cm de diámetro e 20 cm de profundidade. En cada un dos lugares, dúas das mostras recolléronse onde crecía *Z. noltii* e as outras dúas onde a planta non tiña presenza. Na Guarda, as mostras G1 e G2 correspóndense a mostras recollidas en presenza de *Zostera*, e G3 e G4 en ausencia de *Zostera*. Na Ramallosa, R1 e R3 correspóndense con mostras recollidas en ausencia de *Zostera*, e R2 e R4 en presenza de *Zostera* (figura 8).



Figura 8. Mapa dos lugares onde se sitúan os puntos de mostraxe da Guarda (imaxes inferiores) e A Ramallosa (imaxes superiores).

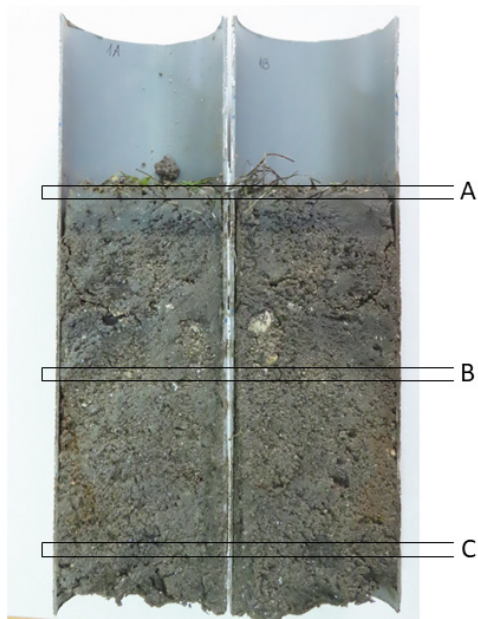


Figura 9. Fotografía dunha mostra (R1) no laboratorio. A, B e C correspóndense coas fraccións seleccionadas en cada unha das mostras.

Unha vez no laboratorio, cada un dos tubos foi dividido lonxitudinalmente en dúas metades das que se seleccionaron 3 fraccións: unha fracción superficial ata 1cm de profundidade (fracción A), outra fracción de 10 a 11 cm de profundidade (fracción B) e outra de 19 a 20 cm de profundidade (fracción C) (figura 9).

Estudo topográfico e determinación do grao de exposición á marea

Cun GPS diferencial (*DGPS TRIMBLE R7*) tomáronse medidas da altura topográfica das áreas ocupadas por *Z. noltii*. Por un lado, tomáronse as referencias topográficas de cada un dos puntos de mostraxe, e por outro, tomáronse as referencias topográficas das áreas ocupadas por *Z. noltii* ao longo dun transecto perpendicular á liña de costa dende a zona máis elevada á zona máis baixa. Os datos topográficos tomáronse inicialmente referidos “cero topográfico”

(NMMA, nivel medio de marea en Alacante) e as posicións en coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) referidas a ETRS89, Fuso 29. Posteriormente os valores topográficos obtidos referíronse ao cero hidrográfico medido polo cravo “Mareógrafo REDMAR Vigo2” (valores referidos ao cero hidrográfico (m) - 1,84). A lámina de auga baixo a que se ven somerxidas as poboacións do transecto calculouse mediante a diferenza entre a altitude máxima das mareas, tanto viva como morta, e a altitude á que se sitúan as partes máis altas e máis baixas ocupadas por *Zostera*.

Determinación da relación porcentaxe de bioclastos/siliciclastos no sedimento

Para coñecer esta relación, procedeuse a determinar a porcentaxe de bioclastos a partir de analizar a porcentaxe de CaCO_3 nas mostras. Para iso empregouse unha submostra das fraccións A, B e C de cada unha das mostras previamente secadas na estufa a 50 °C e pulverizadas.

O proceso empregado baséase na medida da cantidade do CO_2 desprendido ao atacar con HCl os carbonatos contidos na mostra, para isto utilízase o calcímetro de Bernard (figura 10). Realizouse unha recta de regresión cos resulta-

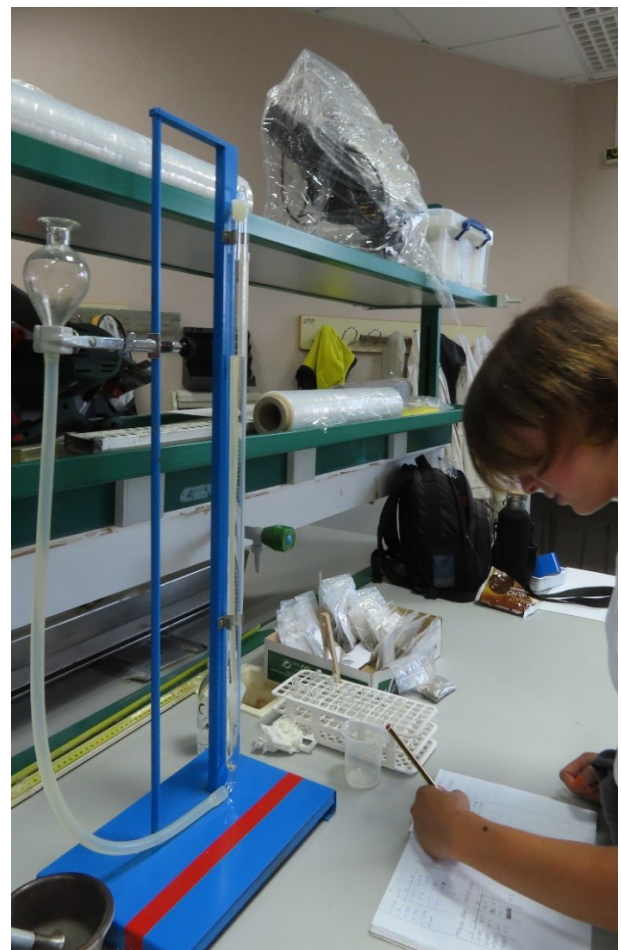


Figura 10. Calcímetro de Bernard empregado para cuantificar o contido de CaCO_3 nas mostras.

dos obtidos tras realizar tamén o mesmo procedemento con cantidades concretas de CaCO_3 puro, o que permitiu establecer unha relación entre o CO_2 desprendido e o CaCO_3 contido na mostra. O cal calculouse como $\text{CaCO}_3' = (\text{CaCO}_3 \times \text{CO}_2) : \text{CO}_2$, sendo:

CaCO_3 : cantidade de carbonato de calcio puro na recta patrón.
 CO_2 : volume de dióxido de carbono desprendido na recta patrón.
 CaCO_3' : cantidade de carbonato de calcio contido na mostra.
 CO_2' : volume de dióxido de carbono desprendido na mostra.

A partir das porcentaxes de CaCO_3 obtidas nas diferentes fraccións en cada mostra calculouse a media da porcentaxe de CaCO_3 no conxunto das mostras de cada localidade estudada, a media de CaCO_3 nas mostras con e sen *Zostera* e a media da porcentaxe de CaCO_3 en cada nivel A, B e C de cada mostra.

Determinación da porcentaxe de materia orgánica

A determinación da porcentaxe de materia orgánica levouse a cabo a partir das mostras previamente secadas na estufa a 50 °C e pulverizadas.

Tomouse unha porción das fraccións A, B e C de cada unha das mostras, pesouse e calcinou nun forno durante 3 horas a 500 °C, tralo que se volveu pesar cada unha delas. A cantidade de materia orgánica vén dada pola diferenza entre o peso inicial e o final.

Estudo do tamaño de gran do sedimento

Para facer o estudo do tamaño de gran do sedimento procedeuse a realizar unha análise granulométrica en seco. Previamente, as mostras atacáronse con H_2O_2 para eliminar a materia orgánica e posteriormente laváronse con auga destilada para eliminar os posibles residuos. Deixáronse durante 1 h e 30 min en axitación con 10 ml de hexametáfosfato 5%, como axente dispersante. A continuación, as mostras pasáronse por unha peneira de 0,063 mm de abertura de malla, que se corresponde co tamaño fronteira entre as fraccións de lodo e area.

Deste xeito separáronse as areas, que quedaron retidas na peneira, e os lodos, que se recolleron nunha probeta que foi enrasada con auga a 1 L. A partir dos materiais recollidos na probeta, e despois de axitalos, tomouse unha alícuota de 20 ml empregando unha Pipeta Robinson. Agardáronse 7 min e 42 s e retirouse unha segunda alícuota. Deixáronse secar as alícuotas, de maneira que o peso final daquelas que foron collidas nun primeiro lugar das probetas permitiu coñecer a cantidade total da fracción de lodo, mentres que o peso final das alícuotas que foron recollidas tras deixar repousar a suspensión por máis de 7 min permitiu calcular a cantidade da fracción de arxila. A diferenza entre a cantidade de

lodo e a cantidade de arxila permítenos saber a cantidade da fracción de limo nas mostras.

Por outra banda, secáronse as areas retidas na peneira nunha estufa a 50 °C e pasáronse por unha peneiradora (durante 10 minutos), utilizando unha columna de peneiras de 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 e 0,063 mm de abertura de malla. Posteriormente, pesáronse os sedimentos retidos en cada unha das peneiras. O sedimento que quedou na base da columna de peneiras (e que polo tanto correspondería a un tamaño menor de 0,063 mm) sumouse ao total da fracción de lodo das mostras.

Tras a análise granulométrica da fracción de area, os datos procedentes das peneiras procesáronse co software *Gradistat ver9.1* (Blott *et al.*, 2001) para obter as porcentaxes das diferentes fraccións de tamaño e os parámetros estatísticos do mesmo (media, desviación estándar, asimetría e curtose).

Para comparar os valores medios empregouse o test paramétrico t de comparación de medias. Porén o emprego da estatística paramétrica require que as variables analizadas sigan unha distribución normal e presenten homocedasticidade (homoxeneidade de varianzas). Para comprobar se as variables seguen unha distribución normal empregouse o test Shapiro-Wilk, e para comprobar a homocedasticidade empregouse o test F de comparación de varianzas. En caso de non cumprirse estas dúas condicións a comparación dos valores medios realizouse mediante o test non paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney.

A comparación de valores medios segundo a localidade, a presenza de *Zostera* e a fracción realizouse mediante unha ANOVA de dúas vías para datos independentes. A ANOVA de dúas vías permite estudar como inflúen por si sós cada un dos factores sobre a variable dependente (modelo aditivo), así como a influencia das combinacións que se poden dar entre elas (modelo con interacción).

A análise estatística realizouse co software *R-Studio ver 2021.09.0*.

Resultados

Altura topográfica e grao de exposición á marea

A partir dos datos de altitude respecto do cero hidrográfico e das altitudes das mareas do ano 2022, calculouse a altura da lámina de auga sobre as poboacións de *Z. noltii* ao longo dun transecto perpendicular á liña de costa. Os datos móstranse na táboa 1.

Como podemos observar na táboa 1, na Guarda a lámina de auga baixo a que se ve somerxida a poboación de *Z. noltii* estudada oscila en mareas vivas entre 1,049 m e 1,248 m,

	A Guarda		A Ramallosa	
	Máx.	Min.	Máx.	Min.
Marea viva	1,049	1,248	1,284	2,981
Marea morta	0,349	0,548	-0,116	1,581

Táboa 1. Lámina de auga (m) sobre as plantas de *Zostera* en mareas vivas e mortas nas zonas de *Z. noltii* estudadas, respecto dos valores de marea do ano 2022.

mentres que en mareas mortas oscila entre 0,349 m e 0,548 m. Na Ramallosa, a poboación estudada desenvólvese baixo unha lámina de auga que oscila entre 1,284 m e 2,981 m en mareas vivas e -0,116 m e 1,581 m en mareas mortas.

A diferenza de altura da lámina de auga entre mareas vivas e mareas mortas é de 1,4m na Ramallosa e 0,7m na Guarda.

A lámina de auga é maior na Guarda que na Ramallosa, nesta última localidade a parte máis elevada da poboación non chega a ser cuberta pola preamar das mareas mortas.

Contido en CaCO_3

Na Guarda a porcentaxe media de CaCO_3 das mostras analizadas é menor (0,289%) que na Ramallosa (0,956%), tal e como se pode observar na táboa 2.

A Guarda	A Ramallosa
0,289±0,111	0,956±1,393

Táboa 2. Porcentaxe media de CaCO_3 nas dúas localidades estudadas.

Non existen diferenzas significativas entre ámbolos valores medios ao comparalos mediante o test t de Student ($P>0,05$). A comparación dos valores medios amósase de xeito gráfico na figura 11 mediante un diagrama de caixas.

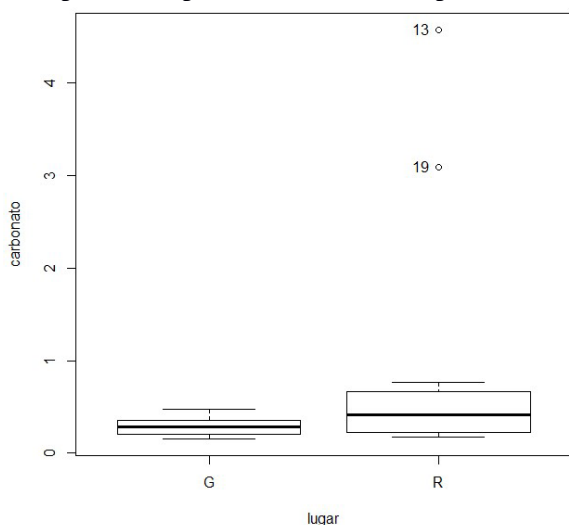


Figura 11. Diagrama de caixas da porcentaxe da CaCO_3 nas localidades estudadas. G: A Guarda e R: A Ramallosa.

Dado que as variables non seguen unha distribución normal nin presentan homocedasticidade, a comparación dos valores medios realizouse mediante o test non paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney. Tampouco se evidencian diferenzas significativas entre os valores medios da porcentaxe de CaCO_3 en ámbalas zonas estudadas ($P>0,05$).

Calculáronse as medias da porcentaxe de CaCO_3 entre as mostras con *Zostera* e sen *Zostera*, os resultados amósanse na táboa 3.

Con <i>Zostera</i>	Sen <i>Zostera</i>
0,7178±1,2285	0,5278±0,8167

Táboa 3. Porcentaxes media do contido de CaCO_3 en función da presenza de *Zostera*.

Como se pode ver na táboa 3, existe unha maior porcentaxe de CaCO_3 nas mostras con *Zostera* que sen *Zostera*, porén, a comparación destes valores medios mediante o test t non amosa diferenzas significativas ($P>0,05$). Estes valores medios amósanse graficamente na figura 12 mediante un diagrama de caixas.

Dado que as variables analizadas non seguen unha distribución normal nin presentan homocedasticidade os valores medios comparáronse mediante o test non paramétrico Wilcoxon-Mann-Whitney que tampouco amosa diferenza significativas ($P>0,05$).

Calculáronse as medias da porcentaxe de CaCO_3 das mostras con e sen *Zostera* en cada unha das localidades estudadas. Os resultados amósanse na táboa 4.

Como se ve na táboa 4, as mostras de sedimento nas que crecía *Z. noltii* presentan un maior contido en CaCO_3 que

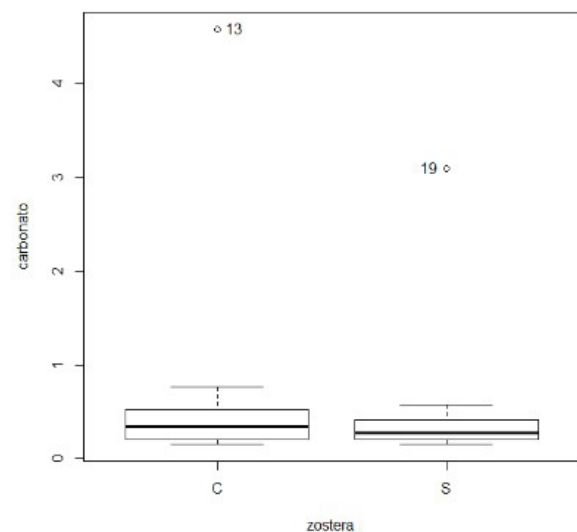


Figura 12. Diagrama de caixas dos valores de porcentaxe de CaCO_3 en función da presenza de *Zostera*. C: mostras con *Zostera*, S: mostras sen *Zostera*.

A Guarda		A Ramallosa	
Con <i>Z. noltii</i>	Sen <i>Z. noltii</i>	Con <i>Z. noltii</i>	Sen <i>Z. noltii</i>
0,335±0,131	0,244±0,070	1,100±1,718	0,812±1,126

Táboa 4. Porcentaxe media de CaCO₃ segundo a presenza de *Z. noltii* nas dúas localidades estudadas.

	A Guarda		A Ramallosa	
	Con <i>Z. noltii</i>	Sen <i>Z. noltii</i>	Con <i>Z. noltii</i>	Sen <i>Z. noltii</i>
A	0,4220 ± 0,0750	0,2830 ± 0,0467	2,3830 ± 3,1014	1,7930 ± 1,8342
B	0,3485 ± 0,1789	0,2025 ± 0,0191	0,4685 ± 0,4165	0,2250 ± 0,0764
C	0,2355 ± 0,1153	0,2450 ± 0,1245	0,4495 ± 0,1747	0,4180 ± 0,2206

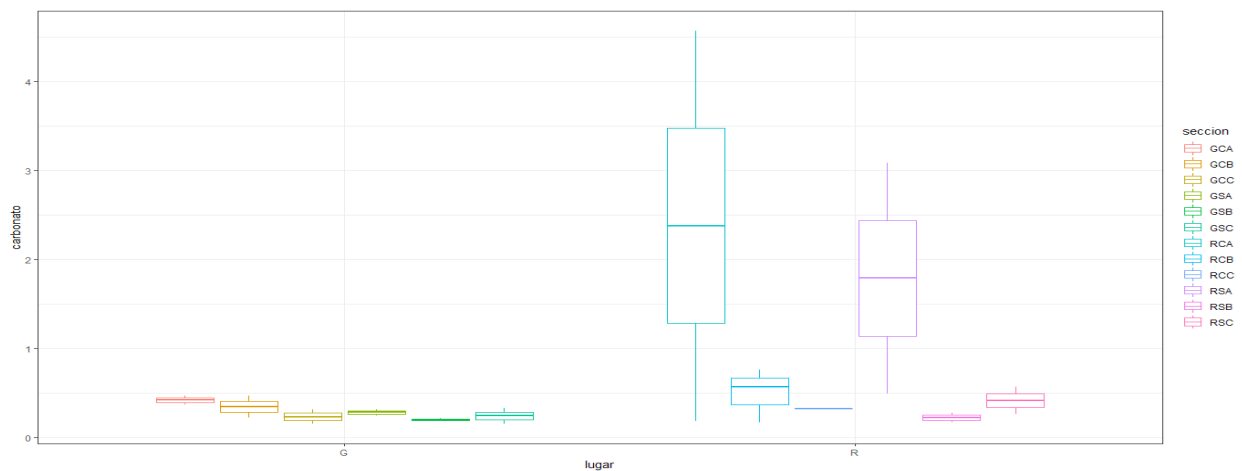
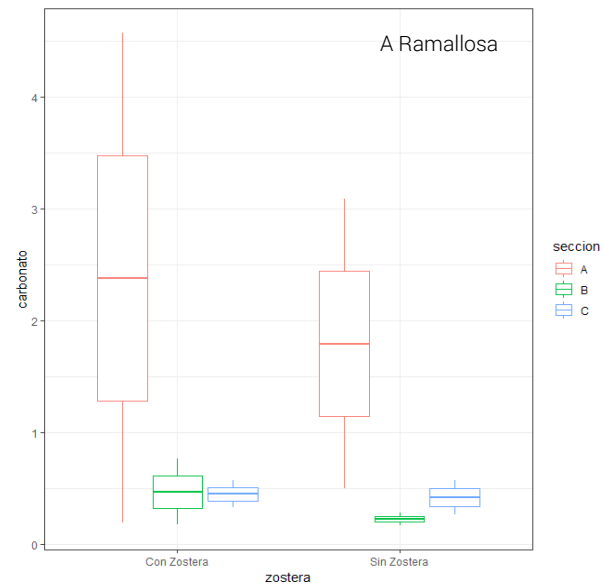
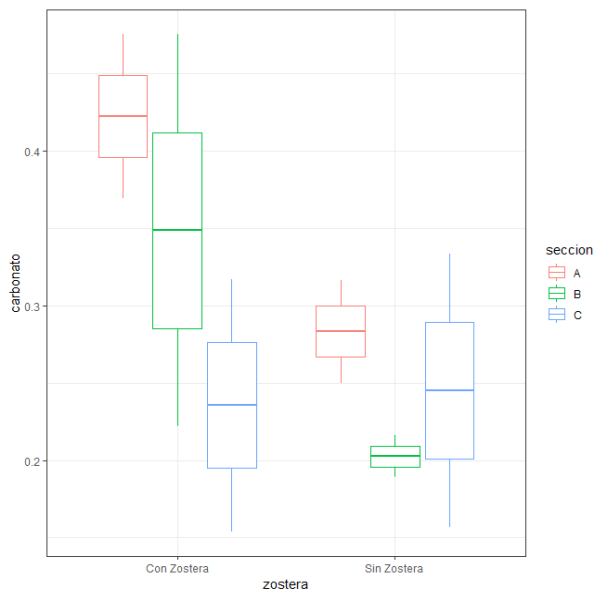
Táboa 5. Porcentaxe media de CaCO₃ en cada unha das fraccións analizadas (A, B e C) segundo a presenza de *Z. noltii* nas dúas localidades estudadas.

aquelas nas que non se atopaba a planta, isto ocorre tanto na Guarda como na Ramallosa, porén a comparación dos valores medios mediante o test t non presenta diferenzas significativas entre estes valores ($P > 0,05$).

Finalmente calculouse a media da porcentaxe de CaCO₃ en cada unha das fraccións de cada unha das mostras analizadas en función da presenza de *Zostera*. Na táboa 5 amósanse estas porcentaxes.

Na táboa 5 obsérvase que, en todas as mostras, a porcentaxe de CaCO₃ tende a diminuír conforme aumenta a profundidade, porén nas mostras sen *Z. noltii* (tanto da Guarda como da Ramallosa) obsérvase un aumento desta porcentaxe na fracción C con respecto á inmediatamente anterior.

Xeráronse as gráficas “Box-plot” para identificar posibles diferenzas significativas, asimetrías, valores atípicos e homoxeneidade de varianzas entre os distintos niveis (presenza de *Zostera* e perfil).



Figuras 13. Gráficas “Box-plot” da porcentaxe media de CaCO₃ en cada unha das fraccións analizadas (A, B e C) en mostras recollidas e segundo a presenza de *Z. noltii*.

Na figura 13 amósanse os diagramas de caixas das porcentaxes en CaCO_3 en cada unha das localidades analizadas (gráficas superiores) e de maneira conxunta (gráfica inferior).

A partir da representación gráfica e o cálculo das medias pódese intuír que existe unha diferenza no contido de CaCO_3 dependendo da zona de procedencia das mostras, sendo maior esta cantidade na Ramallosa que na Guarda. Non parece haber diferenzas entre as mesmas fraccións con e sen *Zostera* en ámbalas localidades. Por último, as fraccións máis superficiais parecen ter unha maior porcentaxe de CaCO_3 que os perfís inferiores. A distribución das observacións de cada nivel parece simétrica sen presenza de valores atípicos. A priori parece que se satisfán as condicións

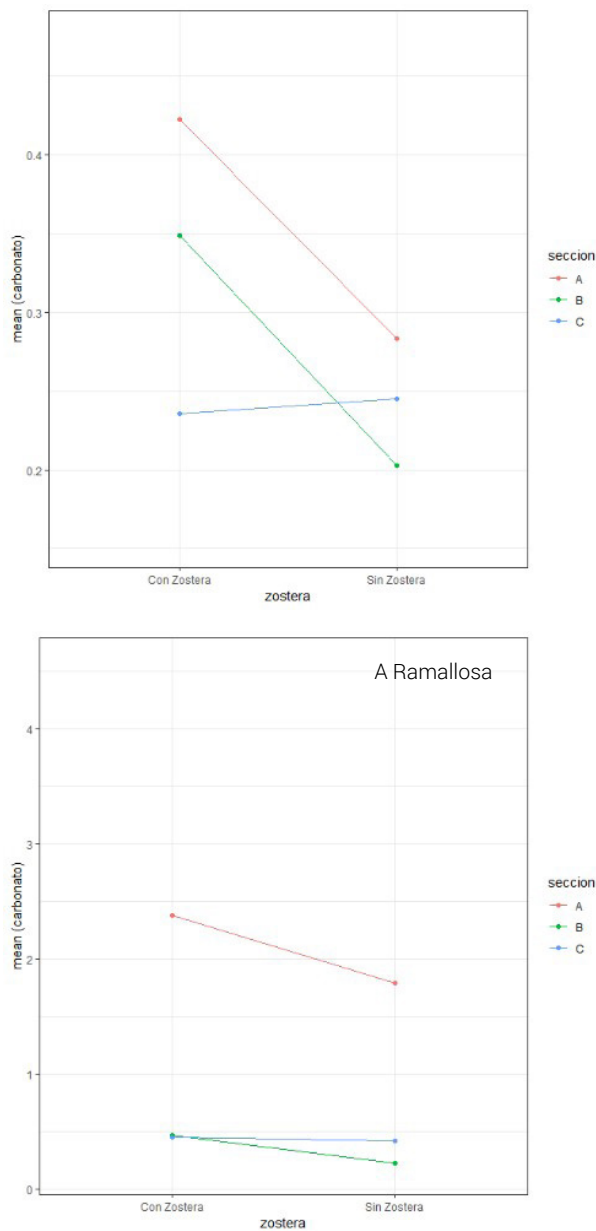


Figura 14. Gráficos de interacción da porcentaxe media de CaCO_3 en cada unha das fraccións analizadas (A, B e C) en mostras recollidas e segundo a presenza de *Z. noltii*.

necesarias para unha ANOVA, aínda que habería que confirmalas estudando os residuos.

Tamén é posible identificar posibles interaccións dos dous factores de forma gráfica mediante o que se coñece como “gráficos de interacción”. Se as liñas que describen os datos para cada un dos niveis son paralelas significa que o comportamento é similar, independentemente do nivel do factor, é dicir, non hai interacción (figura 14).

A análise da varianza, ANOVA, confirma que non existe unha influencia sobre a porcentaxe de carbonatos nin por parte da presenza de *Zostera* ($P>0,05$) nin pola fracción ($P>0,05$), e ademais non existe interacción significativa entre a presenza de *Zostera* e a fracción ($P>0,05$), nin nas mostras da Guarda nin da Ramallosa. Porén, aínda que en xeral a cantidade de carbonatos é maior nos diferentes perfís en presenza de *Zostera*, no perfil C da Guarda a cantidade de carbonatos é menor en presenza de *Zostera*.

Contido en materia orgánica

A porcentaxe media de materia orgánica en cada unhas das localidades estudadas foi de $1,887 \pm 0,512\%$ na Guarda e de $5,364 \pm 4,138\%$ na Ramallosa. Estes valores medios representáanse mediante diagramas de caixas na figura 15.

A comparación dos valores medios mediante o test t amosa diferenzas significativas ($P<0,05$) no contido de materia orgánica das mostras procedentes da Guarda e da Ramallosa. Debido a que estas variables non seguen unha distribución normal (test Shapiro-Wilk, $P>0,05$) nin presentan homocedasticidade (test F, $P>0,05$), realizouse o test non paramétrico Wilcoxon-Mann-Whitney, que tamén amosou diferenzas significativas entre ámbolos valores medios ($P>0,05$).

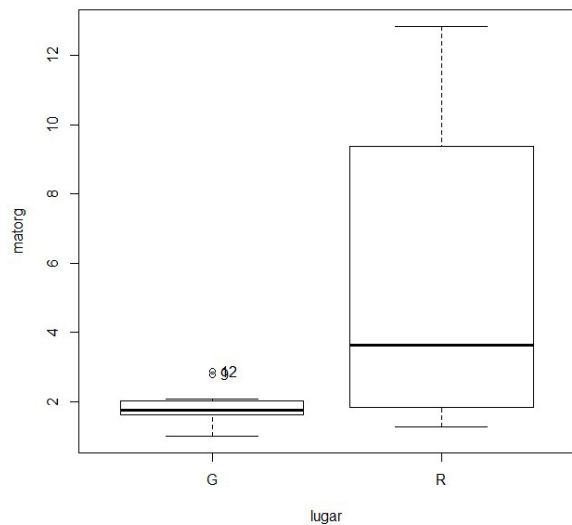


Figura 15. Diagrama de caixas dos valores de porcentaxe de materia orgánica nas localidades estudadas. G: A Guarda, R: A Ramallosa.

Calculouse a media das porcentaxes de materia orgánica en función da presenza de *Zostera*. No total das mostras, a porcentaxe de materia orgánica nas mostras con *Zostera* foi de 5,0372, mentres que nas que non había *Zostera* foi de 2,2140. A presenza de *Zostera* parece determinar un maior contido de materia orgánica dos sedimentos. Estes valores medios amósanse na figura 16 mediante un diagrama de caixas.

A comparación destas medias mediante o test t amosa diferenzas significativas ($P < 0,05$), porén, o test non paramétrico Wilcoxon-Mann-Whitney non amosa diferenzas significativas entre ámbolos valores medios ($P > 0,05$).

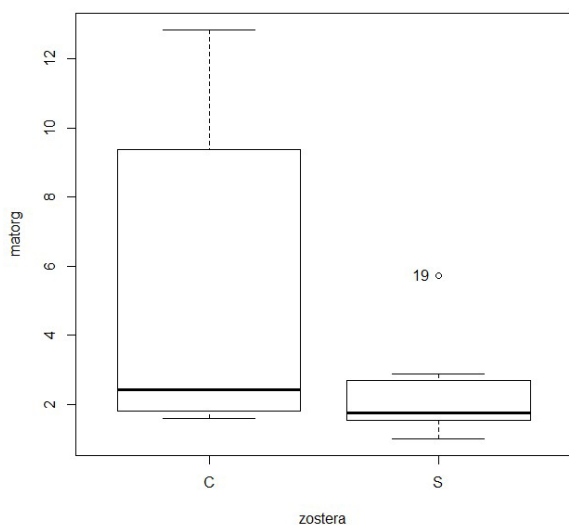


Figura 16. Diagrama de caixas dos valores de porcentaxe de materia orgánica en función da presenza de *Zostera*. C: mostras con *Zostera*, S: mostras sen *Zostera*.

A continuación estudouse a variación do contido en materia orgánica na media das fraccións en cada localidade en función da presenza de *Zostera* (figura 17).

En xeral, como pode verse na figura 16, a cantidade de materia orgánica parece diminuír coa profundidade nas fraccións A, B e C, excepto na Guarda onde os valores medios do contido en materia orgánica na fracción C (máis profunda) son moi superiores ás das fraccións superiores.

A influencia da presenza de *Zostera* na porcentaxe de materia orgánica dos sedimentos analizouse en cada unha das localidades por separado. Os resultados amósanse na táboa 6.

A Guarda		A Ramallosa	
Con <i>Z. noltii</i>	Sen <i>Z. noltii</i>	Con <i>Z. noltii</i>	Sen <i>Z. noltii</i>
1,815±0,192	1,958±0,726	8,259±3,848	2,470±1,661

Táboa 6. Porcentaxe de materia orgánica media segundo a presenza de *Z. noltii* en cada unha das localidades estudadas.

	A Guarda		A Ramallosa	
	Con <i>Z. noltii</i>	Sen <i>Z. noltii</i>	Con <i>Z. noltii</i>	Sen <i>Z. noltii</i>
A	1,9281 ± 0,0776	1,6431 ± 0,0590	11,3365 ± 2,1246	3,5037 ± 3,1391
B	1,8293 ± 0,3395	1,4052 ± 0,5573	6,7548 ± 5,6011	2,0619 ± 0,8086
C	1,6885 ± 0,0708	2,8264 ± 0,0665	6,6860 ± 3,1198	1,8438 ± 0,1786

Táboa 7. Porcentaxe media de materia orgánica en cada unha das fraccións en función da localidade e presenza de *Zostera*.

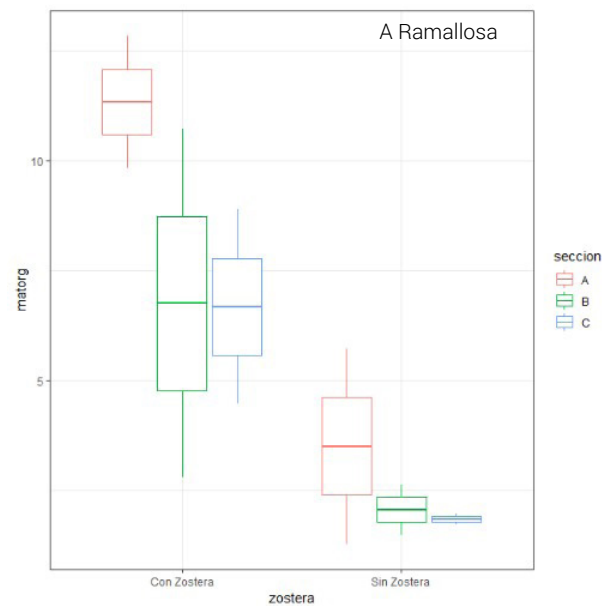
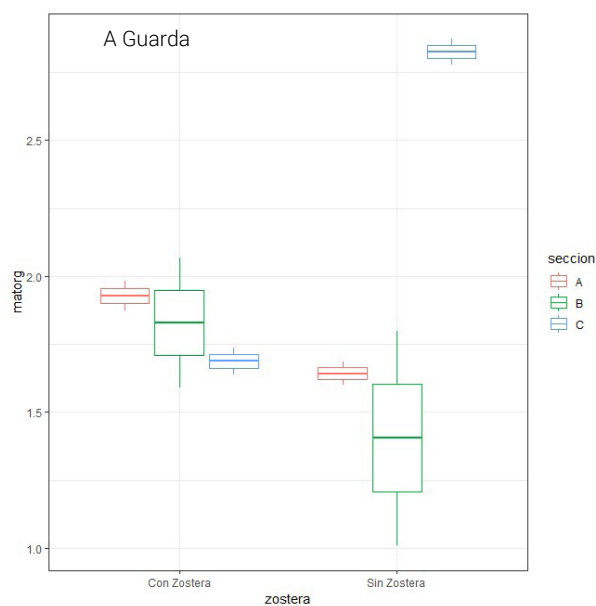


Figura 17. Gráficas "Box-plot" da porcentaxe media de materia orgánica en cada unha das fraccións analizadas (A, B e C) en mostras recollidas e segundo a presenza de *Z. noltii*.

Calculouse a media das porcentaxes de materia orgánica nas diferentes fraccións das mostras recollidas en cada unha das localidades estudadas e en función da presenza de *Zostera*, os datos amósanse na táboa 7.

Como se ve na táboa 7, o contido en materia orgánica diminúe conforme aumenta a profundidade á que se atopaba a fracción da mostra, a excepción da fracción máis profunda das mostras sen *Z. noltii* da Guarda, na que presenta o valor máis elevado de toda a mostra.

Xeráronse as gráficas “Box-plot” para identificar posibles diferenzas significativas, asimetrías, valores atípicos e homoxeneidade de varianzas entre os distintos niveis (presenza de *Zostera* e perfil) (figura 18).

Como se pode observar na figura 18, o contido en materia orgánica é, en xeral, maior na Ramallosa que na Guarda.

A comparación dos valores medios do contido de materia orgánica en cada unha das fraccións nas dúas localidades estudadas amosa diferenzas significativas entre as fraccións ($P < 0,01$). A continuación realizouse unha comparación múltiple por pares mediante a comparación múltiple de medias de Tukey. Houbo diferenzas significativas ($P < 0,05$) entre a media do contido en materia orgánica na fracción A tanto naquelas mostras nas que medraba *Zostera* como nas que non había. En todas as demais comparacións non se observaron diferenzas significativas (táboa 8).

Os gráficos de interacción amósanse na figura 19.

Na Guarda, a análise de varianza confirma que existe unha influencia significativa ($P < 0,05$) sobre a cantidade

		A Guarda			A Ramallosa			
		Con <i>Zostera</i>			Sen <i>Zostera</i>			
		A	B	C	A	B	C	
A Guarda	Con	A						
		B	-					
		C	-	-				
A Guarda	Sen	A	-					
		B		-				
		C			-			
A Ramallosa	Con	A	*					
		B		-				
		C			-			
	A Ramallosa	Sen	A			*		-
			B				-	
			C					-

Táboa 8. Comparación múltiple dos valores medios do contido de materia orgánica nas fraccións en función da localidade e a presenza de *Zostera*. *: $P < 0,05$.

de materia orgánica por parte da fracción analizada e que existe interacción significativa entre a presenza de *Zostera* e a fracción. Non hai diferenza na cantidade de materia orgánica en presenza ou ausencia de *Zostera*, pero si hai diferenzas entre fraccións, en concreto, na fracción C hai menos materia orgánica en presenza de *Zostera*, mentres que nas fraccións A e B hai máis materia orgánica en presenza de *Zostera*. Na Ramallosa a análise da varianza confirma

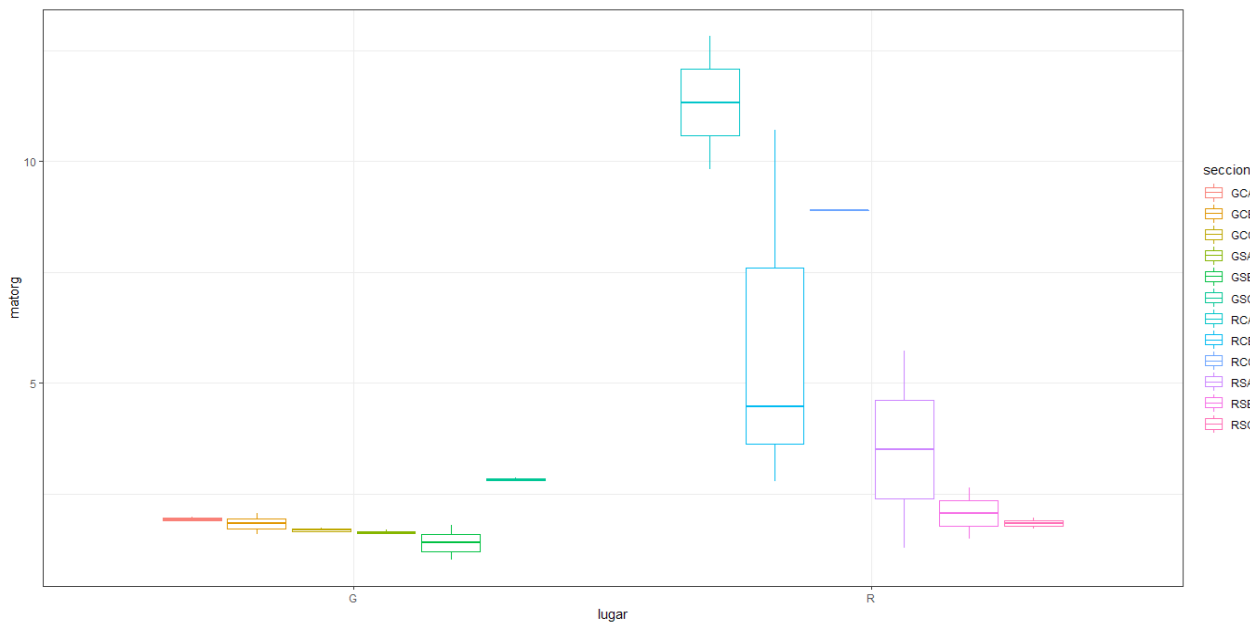


Figura 18. Gráficas “Box-plot” da porcentaxe media de materia orgánica en cada unha das fraccións en función da localidade e presenza de *Zostera*.

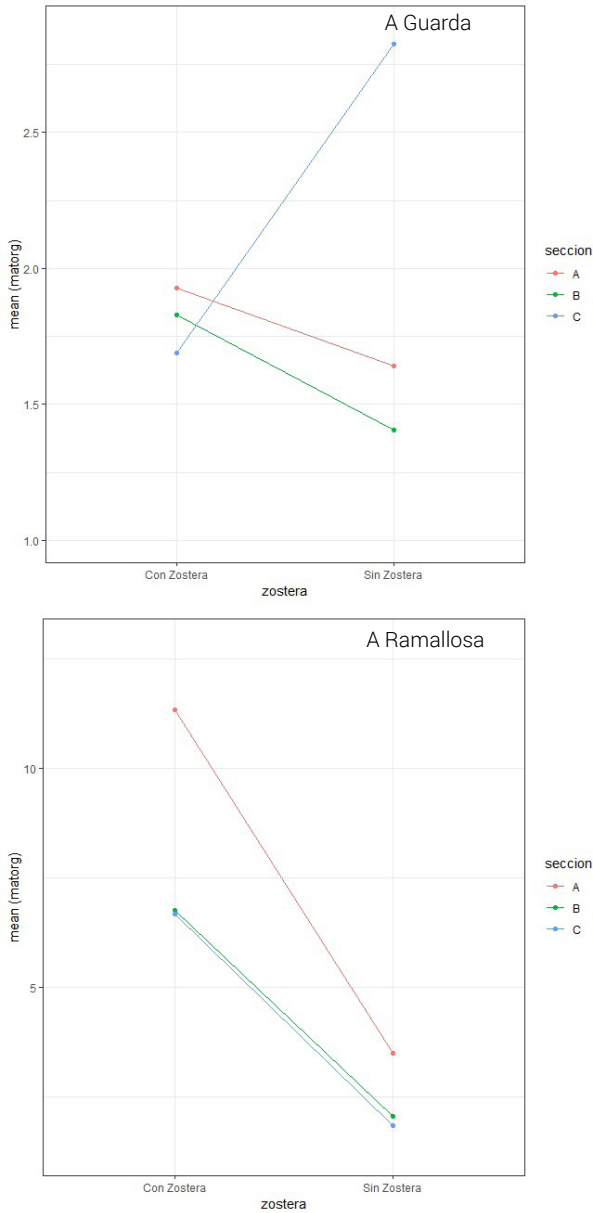


Figura 19. Gráficos de interacción da porcentaxe media de materia orgánica en cada unha das fraccións analizadas (A, B e C) en mostras recollidas e segundo a presenza de *Z. noltii*.

($P < 0,05$) que existe unha influencia significativa sobre a cantidade de materia orgánica por parte da presenza de *Zostera* e que non existe interacción significativa entre a presenza de *Zostera* e a fracción estudada. O contido en materia orgánica é maior en presenza de *Zostera*.

Estudo do tamaño de gran do sedimento

A partir dos datos da análise granulométrica, en primeiro lugar calculouse a porcentaxe da fracción de area, limo e arxila en ámbalas localidades (táboa 9).

Na táboa 9 obsérvase que a porcentaxe da fracción de area que conforma o sedimento é maior na Guarda que na Ramallosa, que presenta unha maior porcentaxe da fracción de lodo (limo e arxila).

Esta porcentaxe das fraccións de area e lodo calculouse tamén nas diferentes localidades estudadas para as mostras con e sen *Zostera* (figura 20). A porcentaxe da fracción de

A Guarda			A Ramallosa		
Area	Limo	Arxila	Area	Limo	Arxila
89,80	5,02	5,18	77,80	10,01	12,19

Táboa 9. Porcentaxe media das fraccións de area, limo e arxila nas dúas localidades estudadas

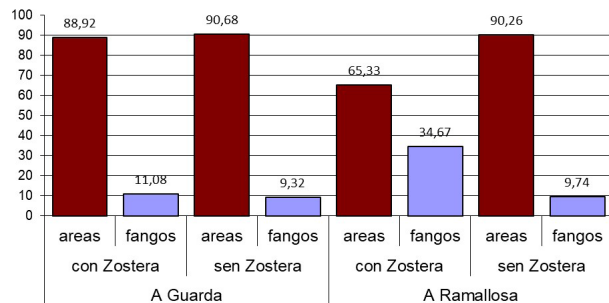


Figura 20. Gráfica de barras da porcentaxe media das fraccións de area e lodo nas dúas localidades segundo a presenza de *Zostera*.

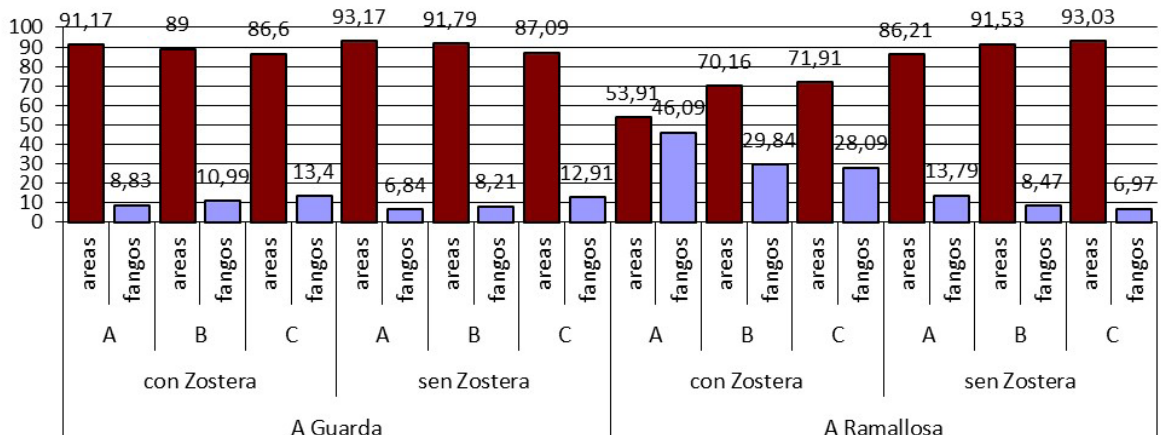


Figura 21. Gráfica de barras da porcentaxe media das fraccións de area e fango nas fraccións segundo a localidade e a presenza de *Zostera*.

area da que se compón o sedimento parece ser maior nas zonas onde non crece *Z. noltii*.

Como se pode observar na figura 21, a porcentaxe da fracción de area da que se conforma o sedimento na Guarda diminúe conforme aumenta a profundidade, mentres que na Ramallosa sucede o contrario, a porcentaxe da fracción de area no sedimento aumenta á vez que o fai a profundidade á que se atopa.

O tamaño medio das areas nas diferentes mostras amósase na figura 22.

Como se pode observar na figura 22, os tamaños das areas son máis homoxéneos entre as mostras procedentes da Guarda que as da Ramallosa, onde existe unha maior variabilidade. A análise ANOVA evidenciou diferenzas significativas ($P < 0,05$) entre o tamaño medio das areas entre as mostras e non entre as fraccións ou en función da presenza de *Zostera*. Dado que existen diferenzas nos tamaños medios das areas nas diferentes mostras, realizouse un test de comparacións múltiples coa corrección de TukeyHSD. Existen diferenzas significativas ($P < 0,05$) entre as mostras G1-R3, G4-R3 e R2-R3.

A partir da peneirado da fracción de area de cada fracción obtívose a distribución de tamaños dos clastos, estas distribucións de tamaños para as mostras da Guarda e A Ramallosa amósanse nas figuras 23 e 24, respectivamente.

Por un lado, a análise da distribución da fracción de area mediante o software *Gradistat ver. 9.1* (2020), polo método de Folk & Ward amosou que todas as seccións das mostras recollidas na Guarda amosan unha media de tamaño que se corresponde con areas de tamaño medio oscilando entre 350,2 μm e 469,5 μm , moderadamente seleccionadas (excepto G4, pobremente seleccionadas). Por outro lado, na Ramallosa obsérvase un maior rango da media dos tamaños das areas; así, os tamaños oscilan entre areas finas (154,7 μm) e areas grosas (572,5 μm), en todos os casos pobremente seleccionadas.

Na figura 25 represéntanse os tamaños medios da fracción de area nas diferentes seccións en función da presenza de *Zostera*.

A partir destes resultados realizouse unha análise ANOVA para detectar diferenzas entre os valores medios debidos á presenza de *Zostera* ou á sección en cada unha das localidades estudadas. Non se detectaron diferenzas significativas en ningún dos casos.

Discusión

A lámina de auga é maior na Ramallosa que na Guarda, porén, debido á maior extensión da poboación da Ramallosa, as zonas máis elevadas desta poboación non se cobren pola preamar das mareas mortas (figura 26), a pesar de que a amplitude do intermareal é maior na Ramallosa que na Guarda.

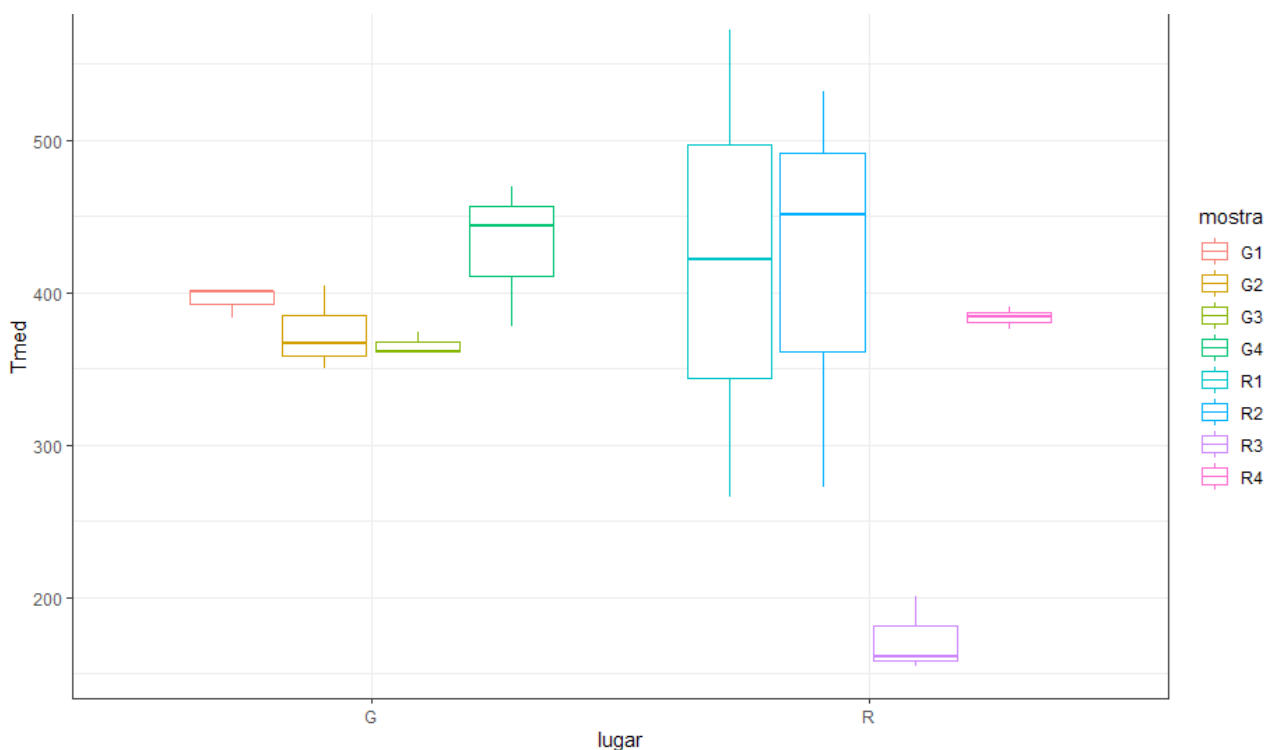


Figura 22. Gráficos "Box-plot" do tamaño medio da fracción de area

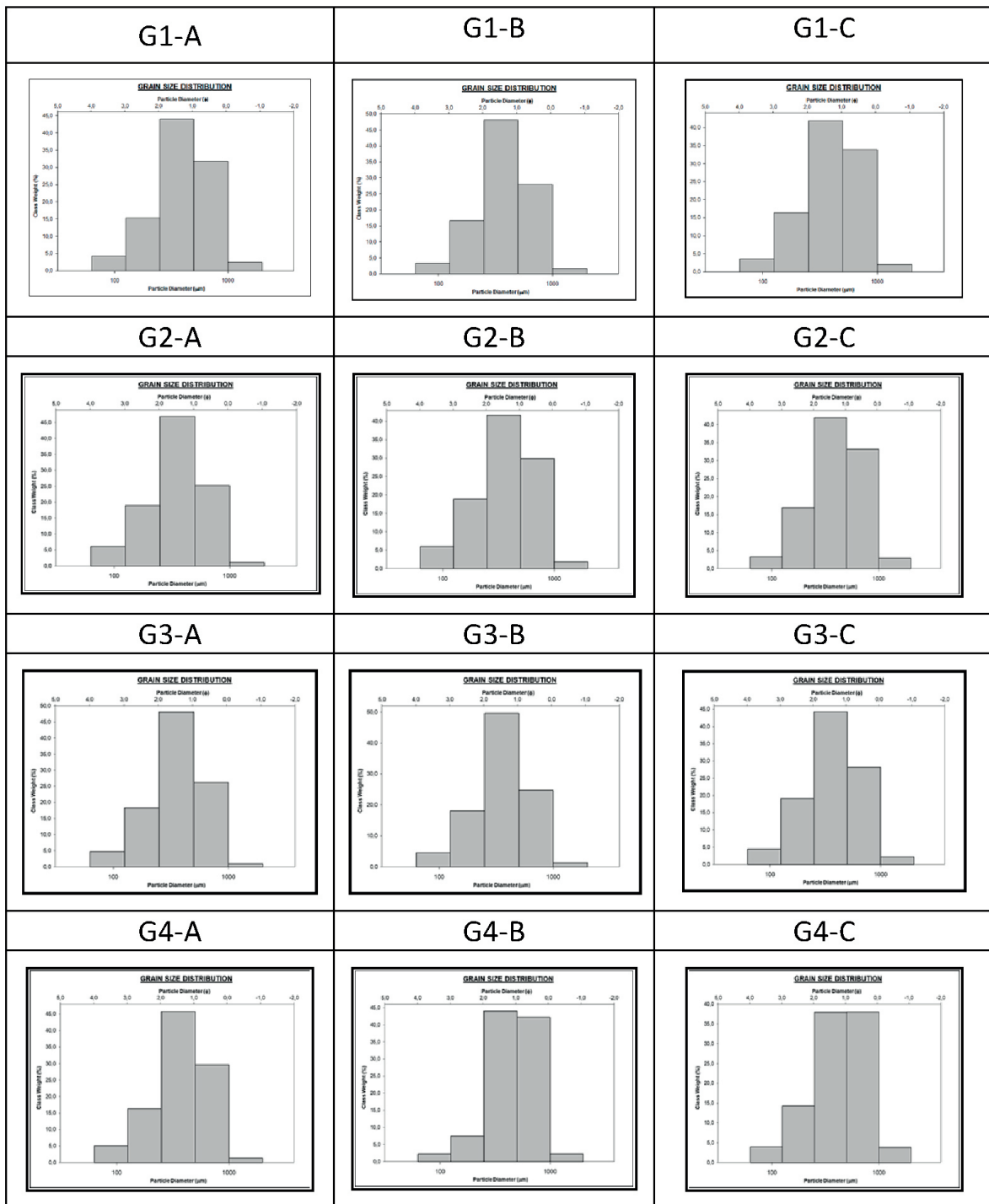


Figura 23. Distribución de tamaños da fracción de area en cada unha das fraccións analizadas na Guarda.

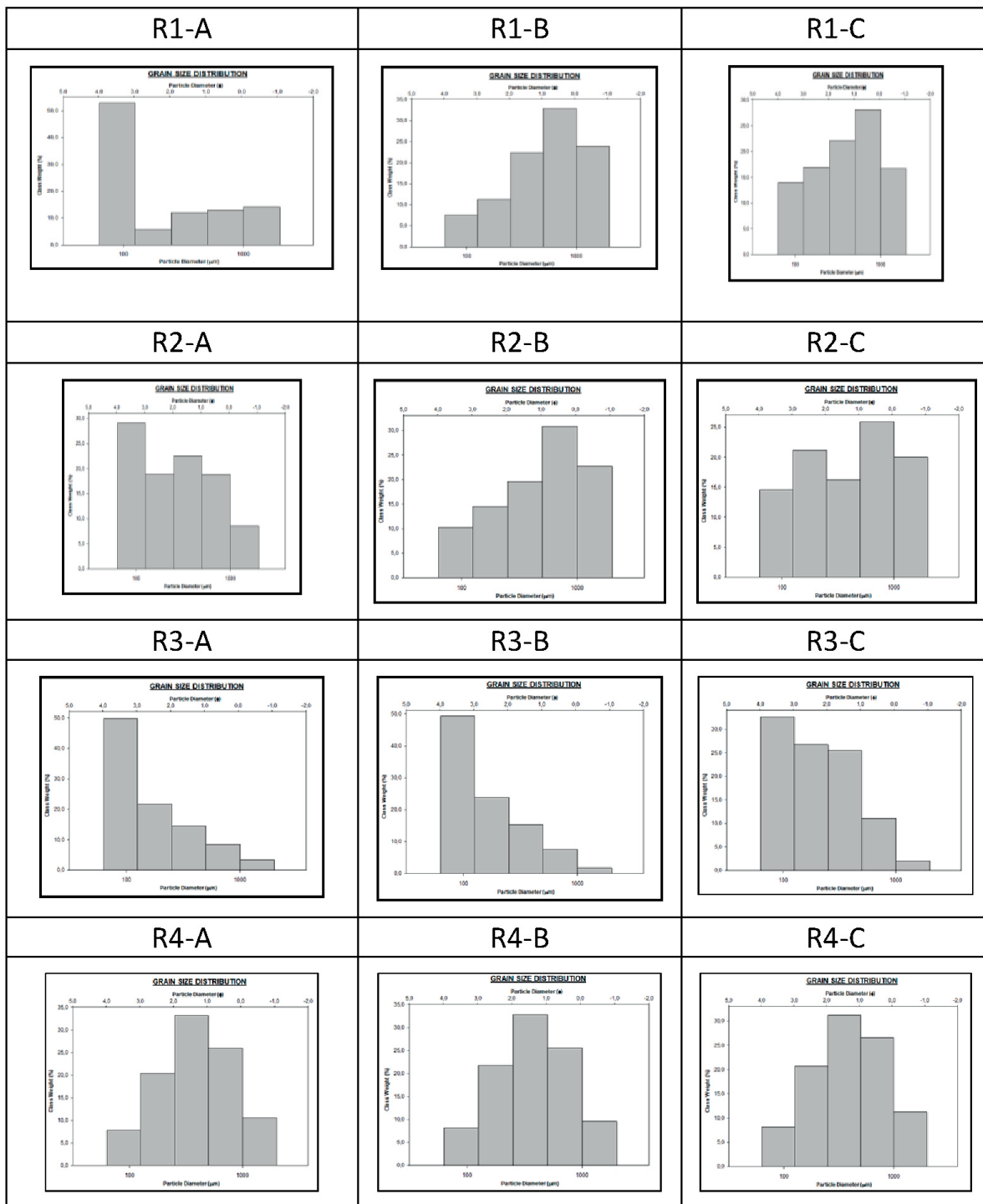


Figura 24. Distribución de tamaños da fracción de area en cada unha das fraccións analizadas na Ramallosa.

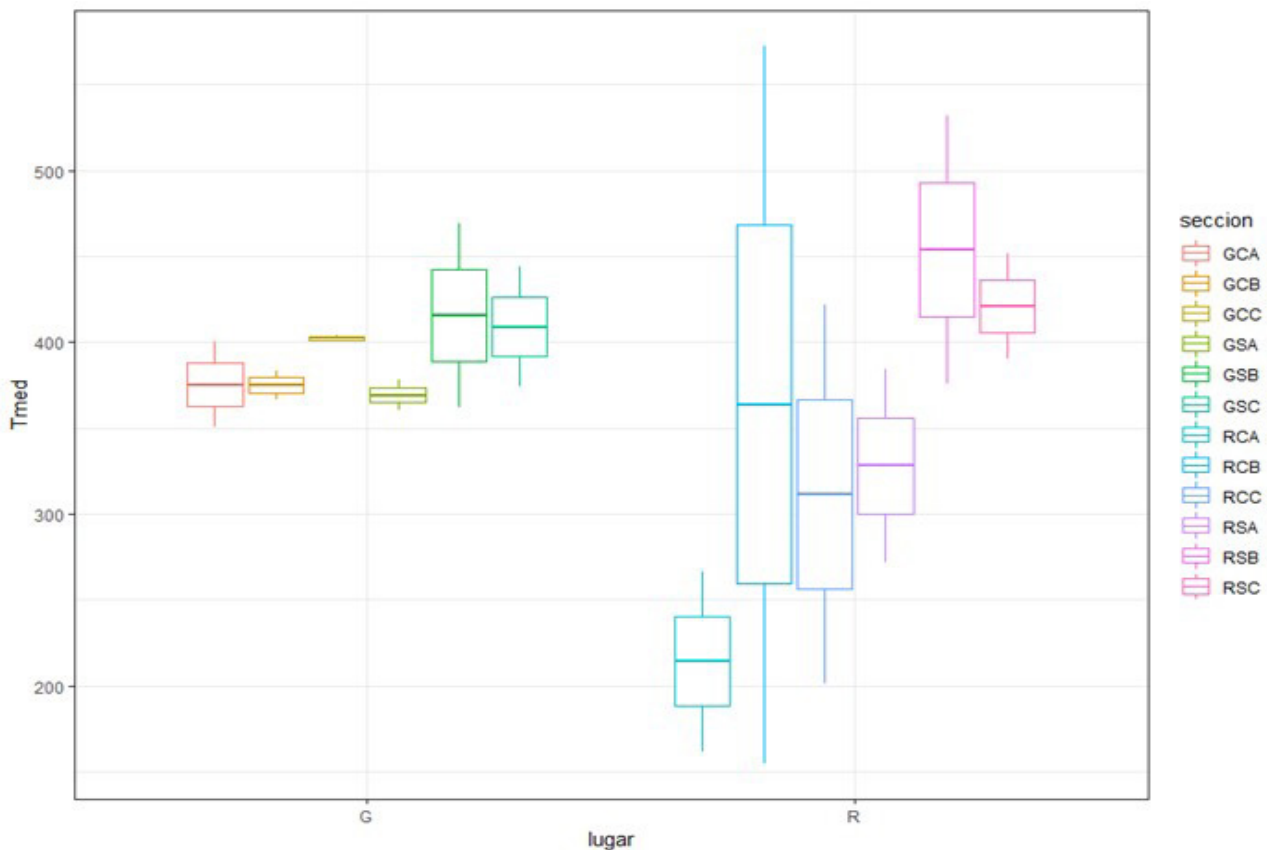


Figura 25. Gráfico "Box-plot" do tamaño medio da fracción de area en cada fracción segundo o lugar de recollida e a presenza de *Zostera*.

Esta diferenza na lámina de auga podería estar ocasionada pola confluencia entre correntes fluviais e mariñas que ten lugar no complexo intermareal da Ramallosa (Alejo *et al.*, 1990), onde o sistema do estuario é máis pechado, favorecendo a acumulación de auga, mentres que na Guarda é máis aberto. O que implica unha situación de maior hidrodinamismo nas poboacións de *Z. noltii* na Guarda.

Non existen diferenzas significativas na cantidade de bioclastos contidos nas mostras, non obstante, obsérvase unha tendencia de tal maneira que, en xeral, o contido de CaCO_3 diminúe conforme aumenta a profundidade á que se atopa o sedimento. A menor cantidade de bioclastos nas capas máis profundas podería indicar un menor aporte de sedimentos de orixe mariña e, polo tanto, un maior aporte de material aportado polo río (siliciclastos), pola mesma razón, un maior contido de bioclastos nas capas máis superficiais indica un maior aporte de sedimentos de orixe mariña (bioclastos) (Alejo *et al.*, 1988).

O contido en materia orgánica tamén tende a ser menor a medida que aumenta a profundidade das fraccións analizadas, así mesmo, semella existir unha relación directa entre a diminución do contido na fracción de area e o aumento de materia orgánica. Ademais, existen diferenzas significativas entre a cantidade de materia orgánica na sección máis su-

perficial das mostras, a cal é moito maior na Ramallosa que na Guarda. Isto pode deberse a que o complexo intermareal da Ramallosa presenta características dinámicas de menor enerxía (Alejo *et al.*, 1990), o que favorece a acumulación de grans de menor tamaño e unha maior porcentaxe de materia orgánica, ademais, o complexo intermareal da Foz na Ramallosa estase actualmente colmatando (Alonso *et al.*, 2010), o que explica o maior contido da fracción de lodo e materia orgánica na superficie. A praia do Codesal, en cambio, atópase máis exposta e con características dinámicas de maior enerxía, polo que aumenta o tamaño de gran e redúcese o contido en materia orgánica no sedimento.

A análise granulométrica mostra unha maior porcentaxe da fracción de lodo nas mostras con *Zostera* da Ramallosa que nas da Guarda, ademais, na Ramallosa o tamaño das areas (dende $154,7\mu\text{m}$ ata $572,5\mu\text{m}$) varía moito máis que na Guarda, onde todas se agrupan arredor do mesmo valor (entre $350,2\mu\text{m}$ e $469,5\mu\text{m}$). Estas diferenzas no tamaño de gran do sedimento son un reflexo da rápida colmatación que está tendo lugar na Ramallosa e podería deberse a que os cambios ocorridos nos aportes foron maiores que na Guarda. Este suceso está tendo lugar na maioría de zonas intermareais e marismas (Alonso *et al.*, 2010), porén, non sucede o mesmo no Codesal, o que podería deberse á súa situación xeográfica, moi próxima ao canal do río Miño.

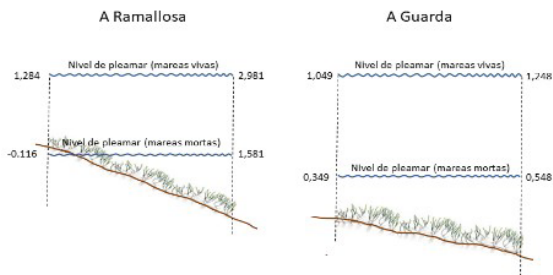


Figura 26. Lámina de auga durante a preamar en mareas mortas e vivas sobre as poboacións de *Z. noltii* na Ramallosa e na Guarda.

Conclusións

1.- A lámina de auga baixo a que se ve somerxida a poboación é maior na Ramallosa que na Guarda, cunha diferenza de 1,733 m. A diferenza de altitude con respecto ao cero hidrográfico dentro da propia poboación é maior na Ramallosa, de 1,4 m, que na Guarda, de 0,7m.

2.- Non se detectaron diferenzas no contido de bioclastos entre as dúas localidades estudadas.

3.- O sedimento da Ramallosa está conformado por unha maior proporción da fracción de lodo que o da Guarda.

4.- O contido de materia orgánica nos sedimentos é maior na Ramallosa que na Guarda.

5.- O tamaño medio da area na Guarda é máis homoxéneo que na Ramallosa.

6.- Os datos suxiren que as diferenzas nas características do sedimento poderían ser unha das causas da desaparición de *Z. noltii* na Guarda.

Referencias bibliográficas

ALEJO, I., DE RAMÓN, M. I., NOMBELA, M. A., REIGOSA, M. J., VILAS, F. (1990). Complejo intermareal de A Ramallosa, (Bahía de Baiona, Pontevedra) I. Ecología y evolución. *Thalassas: An International Journal Of Marine Sciences* 8 (1): 45-56.

ALEJO, I., VILAS, F. (1988). Ambientes sedimentarios de la Enseñada de Baiona (Pontevedra). *Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña*. 1987. Vol. 12, pp. 11-24

ALONSO, A., PAGÉS, J. L. (2010). Evolución del nivel del mar durante el holoceno en el noroeste de la Península Ibérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 23 (3-4). Departamento de Ciencias de la Navegación y de la Tierra. Fac. de Ciencias.

Campus da Zapateira. Universidad de A Coruña.

BERNARD, G., DELGARD, M., MAIRE, O., CIUTAT, A., LECROART, P., DEFLANDRE, B., DUCHÊNE, J., GRÉMARE, A. (2014). Comparative study of sediment particle mixing in a *Zostera noltii* meadow and a bare sediment mudflat. *Marine Ecology Progress Series* 514: 71-86.

BLOTT, S.J., PYE, K. (2001) GRADISTAT: un paquete estadístico y de distribución de tamaño de grano para el análisis de sedimentos no consolidados. *Procesos de la superficie terrestre y accidentes geográficos*. 26: 1237-1248.

CACABELOS, E., QUINTAS, P., TRONCOSO, J., SÁNCHEZ, J., AMIGO, J., ROMERO, I., GARCÍA, V., CREMADES, J., BÁRBARA I. (2015). Praderas de angiospermas marinas de Galicia *In*: RUIZ, J.M., GUILLÉN, J.E., RAMOS SEGURA, A. & OTERO, M.M. (Eds.). *Atlas de las praderas marinas de España*. IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga: 121-177.

CESBRON, F., GESLIN, E., JORISSEN, F. J., DELGARD, M. L., CHARRIEU, L., DEFLANDRE, B., JÉZÉQUEZ, D., ANSCHUTZ, P., METZGER, E. (2011). Vertical distribution and respiration rates of benthic foraminifera: Contribution to aerobic remineralization in intertidal mudflats covered by *Zostera noltii* meadows. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 179: 23 – 38.

COCHÓN, G. (2004). Estudio de *Zostera noltii* na Ría de Pontevedra. *Tese de licenciatura. Universidade de Vigo*.

GONZÁLEZ, V., MARÍA CANDELARIA GIL RODRÍGUEZ, JACINTO BARQUÍN DÍEZ, NAROA ALDANONDO ARISTIZABAL (2006). Parámetros de interés medioambiental en las praderas de *Zostera noltii* (Magnoliophyta) de Lanzarote, islas Canarias. *Revista de la Academia Canaria de Ciencias: = Folia Canariensis Academiae Scientiarum*. 17 (4): 13-18.

GUERRERO-MESEGUER, L., VEIGA, P., SAMPAIO, L., RUBAL, M. (2021). Sediment Characteristics determine the flowering effort of *Zostera noltii* meadows inhabiting a human-dominated lagoon. *Plants* 10(7): 1387.

HERMIDA, J. J. (2017). O litoral como obxecto de estudo: sedimentoloxía e biodiversidade. Un proxecto integral de traballo científico. *Boletín das Ciencias* 84: 35 – 36.

MARTÍN, A. (2022). Estudio de la diversidad genética en una pequeña población de *Z. noltii* en A Guarda. Memoria STEM-Bach. IES Val Miñor.

PIÑEIRO-JUNCAL, N., DÍAZ-ALMELA, E., LEIVA-DUEÑAS, C., MARCO-MÉNDEZ, C., MATEO, M. A. (2021). Las praderas marinas andaluzas como sumidero y almacén de carbono orgánico. *Chronica naturae*. 8: 21 – 34.

VALES, C., PARÍS, S., GARCÍA, V. (coord.) (2021). Praderas marinas, tesoros de biodiversidad. *Publicación científico-técnica. CEIDA, Oleiros*.

VALLE, M. (2014). *Seagrass meadows under a changing climate: habitat modelling, restoration and monitoring*. PhD Thesis. Department of plant biology and ecology. Universidad del País Vasco.