

UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI, CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE BIOLOGIE ȘI GEOLOGIE
DEPARTAMENTUL DE GEOLOGIE
ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOLOGIE TEORETICĂ ȘI
APLICATĂ

FACTORI DETERMINANȚI ÎN FLUCTUAȚIA
ASOCIAȚIILOR DE FORAMINIFERE HOLOCENE DIN
LARGUL CAPULUI BLANC, NV AFRICII

REZUMAT

Student Doctorand

Lázár Botond- Árpád

Coordonator Științific

Prof. Dr. Sorin Filipescu

Cluj-Napoca

2025

Cuprins	
Mulțumiri	4
Amplasament (Capul Blanc, NV Africii)	5
Zona de Studiu și Situația Oceanografică	6
Factori de Productivitate	9
Materiale și Metode	10
Probe	10
Date de Mediu	10
Prelucrarea Probelor	10
Statistică și Analiza Datelor	11
Indicele de Oxigenare al Foraminiferelor benthonice (BFOI)	11
Analiza Izotopiilor Stabili	13
Capitolul 1. Factori de Control ai Asociațiilor de Foraminifere benthonice, în largul Capului Blanc, NV Africii	14
Analiza dendrogramelor	21
Analiza Componentelor Principale (PCA)	24
Oxigenare	26
Discuții	30
Concluzii	37
Capitolul 2. Variația Izotopilor Stabili și a Asociațiilor de Foraminifere	40
Compoziția Asociațiilor de Foraminifere	40
Foraminifere Planktonice	44
Foraminifere benthonice	51
Discuție	64
Distribuția Foraminiferelor benthonice	64
Foraminifere Planktonice și Productivitatea Primară	66
SchiVariații Izotopice	66

Concluzii	73
Zonarea bathimetrică și Adaptarea Ecologică	75
Provocări și inovații în proxy-uri de oxigen.....	76
Ciclul Carbonului și Implicații.....	76
Bibliografie	77
Figuri Supimentare	111
Tabele	148
Table 1. Foraminifere bentonice Identificate	148
Table 2. Taxonomia Foraminiferelor Planktonice	193
Tabel 3. Analize de Izotopi Stabili (¹³C and ¹⁸O).....	208
Tabel 4. Informații și Distribuția Probelor	223

Cuvinte cheie:

Foraminifere bentonice și planktonice; schimbări de mediu; abundență dinamică; productivitate; izotopi stabili, Capul Blanc; NV Africii

Rezumat

Zona din largul Capului Blanc din NV Africii reprezintă una dintre cele mai productive zone ale Pământului datorită curenților oceanici, sistemului de upwelling și unui flux major de praf dinspre Deșertul Sahara (Hagen, 2001; Mittelstaedt, 1983). Sahara este considerată principala sursă de praf eolian pe glob (Huneus et al., 2011; Jickells et al., 2005), având un impact semnificativ în variația productivității oceanice. Prin furnizarea de nutrienți și oligoelemente precum fierul (Fe) și fosforul (P) către ocean (Kolber et al., 1994), acesta acționează ca un fertilizant, stimulând “pompa biologică” de carbon prin procesul de balastare (Guerreiro et al., 2024). Observațiile și experimentele din ultimele decenii au evidențiat că aportul de Fe dizolvat declanșează creșterea productivității fitoplanctonului (Boyd, 2002; Coale et al., 1996).

În Atlanticul de Nord, două componente majore ale productivității oceanice pot fi identificate: o producție primară netă la suprafața oceanului (controlată de organismele fotosintetice) și o producție de export (materie organică care se sedimentează pe fundul oceanic) (Berger et al., 1989). Studii recente au demonstrat că un flux de praf bogat în fier poate spori productivitatea primară cu până la 30% (Weis et al., 2024). Cu toate acestea, impactul fertilizării cu Fe și al prafului asupra comunităților benthonice, precum și modul în care creșterea productivității fitoplanctonului se transmite către fundul oceanic și ulterior în sedimente, rămân puțin înțelese.

Prin urmare, zona din largul NV Africii este un loc ideal pentru investigarea impactului productivității și biogeochimiei oceanice. În plus, Capul Blanc este un sit clasic pentru cercetările privind foraminiferele benthonice (FB), deoarece aici a fost observată și descrisă pentru prima dată distribuția verticală a comunităților de FB în sedimente, precum și o legătură între zona FB, procesele geochemice și comunitățile bacteriene (Jorissen et al., 1998).

Studiile anterioare s-au bazat doar pe fracțiuni de foraminifere benthonice mari ($>150\ \mu\text{m}$ și $>250\ \mu\text{m}$) colectate de-a lungul unui singur aliniament (Lutze and Coulbourn, 1984). Astfel, abundența relativă a taxonilor mici asociați cu fitodetritusul (e.g., *Alabaminella* și *Epistominella*) a fost probabil subestimată. Pentru a completa această lacună, am realizat un studiu de înaltă rezoluție al comunităților de FB $>63\ \mu\text{m}$ și al factorilor determinanți în distribuția acestora pentru această regiune complexă. Aici, combinăm analize de izotopi stabili ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{C}$) cu date ale asociațiilor de foraminifere benthonice și planktonice din două

aliniamente, acoperind adâncimi de la shelf (~100 m) până la zona abisală (~3500 m). Prin analiza distribuției orizontale și verticale a foraminiferelor și a variațiilor izotopice, intenționăm să identificăm factorii care influențează productivitatea de la suprafața oceanului, efectele fluxului de materie organică asupra dinamicii ecosistemelor bentonice și influența acestora asupra ciclului carbonului la diferite adâncimi.

Capitolul 1. Factori de Control ai Asociațiilor de Foraminifere benthonice, în largul Capului Blanc, NV Africii

Zona din largul coastei Capului Blanc, situată în nord-vestul Africii, reprezintă un mediu oceanografic complex, caracterizat prin curenți puternici, upwelling și aport semnificativ de praf din Sahara. Aceste condiții influențează profund distribuția și dinamica comunităților de foraminifere benthonice, organisme utilizate ca indicatori ai condițiilor de mediu. Studiul de față analizează structura asociațiilor de foraminifere benthonice ($>63\text{ }\mu\text{m}$) colectate de-a lungul a două alinamente, de la platforma continentală ($\sim 100\text{ m}$) până în câmpia abisală ($\sim 3500\text{ m}$), evidențiind legătura dintre distribuția lor, parametrii de oxigenare (BWO și PWO) și disponibilitatea hranei.

Distribuția spațială a foraminiferelor benthonice

Asociațiile de foraminifere benthonice din zona studiată prezintă o zonare distinctă în funcție de adâncime și geomorfologie. Pe șelful extern și zona bathială superioară (111–495 m), asociația este dominată de *Cassidulina laevigata*, care reflectă condiții de oxigenare crescută, cu tendințe de scădere cu adâncimea (Fig. 1.). Procentul speciilor adaptate la medii oxice crește de la $\sim 26\%$ la $>54\%$, în timp ce cel al speciilor suboxice și disoxice scade. Această tendință concordă cu creșterea ușoară a oxigenării din apa de fund (BWO) și sediment.

La adâncimi medii (844–2339 m), asociația *Bolivina-Cassidulina* de pe Aliniamentul Nordic se caracterizează prin eterogenitate și localizare. Abundența relativă a taxonilor hialini scade de la $\sim 92\%$ la 57% , în favoarea celor porțelanoși și aglutinanți. Deși nivelurile de oxigen (BWO și PWO) cresc semnificativ, predomină speciile suboxice ($\sim 50\% \rightarrow 73\%$), sugerând că disponibilitatea hranei și competiția interspecifică joacă un rol mai important decât oxigenarea.

Pe Aliniamentul Sudic, în aceeași zonă bathială (780–1624 m), asociația cu *Bulimina aculeata* este mai omogenă, influențată de prezența unui canion și a curenților orientați sud-nord. Procentul speciilor oxice ($\sim 20\text{--}28.6\%$) rămâne stabil, iar cel al suboxicelor crește ($\sim 39\% \rightarrow 58\%$), deși BWO și PWO urmează o tendință similară cu cea de pe aliniamentul nordic. Aceste diferențe subliniază impactul geomorfologiei asupra circulației oceanice și a aportului de nutrienți.

În zonele abisale (2939–3405 m), două asociații distincte reflectă adaptări la medii cu concentrație ridicată de oxigen și depuneri de fitodetritus. Asociația cu *Eggerella-Alabaminella* (2939 m), dominată de taxoni aglutinanți (~36%), este asociată cu oxigenare maximă (BWO: 4.86 ml/l). În schimb, asociația cu *Epistominella exigua* (3405 m), în care predomină specii suboxice (~67–72%), colonizează sedimente bogate în fitodetritus, deși nivelurile de oxigen sunt ridicate. Aceasta sugerează că adaptarea la microhabitatele bogate în materie organică poate compensa condițiile de oxigenare.

Fiabilitatea indicilor de oxigenare (BFOI și EBFOI)

Indicii BFOI (Benthic Foraminiferal Oxygen Index) și EBFOI (Enhanced BFOI), utilizați pentru estimarea oxigenului istoric, au fost testați în condițiile complexe ale zonei Cape Blanc. Rezultatele arată o corelație slabă între acești indici și nivelurile măsurate ale BWO/PWO. Procentul speciilor suboxice se corelează moderat cu BWO, iar cel al disoxicelor cu PWO, dar influența factorilor secundari (competiție, upwelling, aport de praf) reduce acuratețea interpretărilor. De exemplu, speciile oxice sunt afectate de competiție, iar cele suboxice pot prospera în medii bine oxigenate dacă există hrană suficientă.

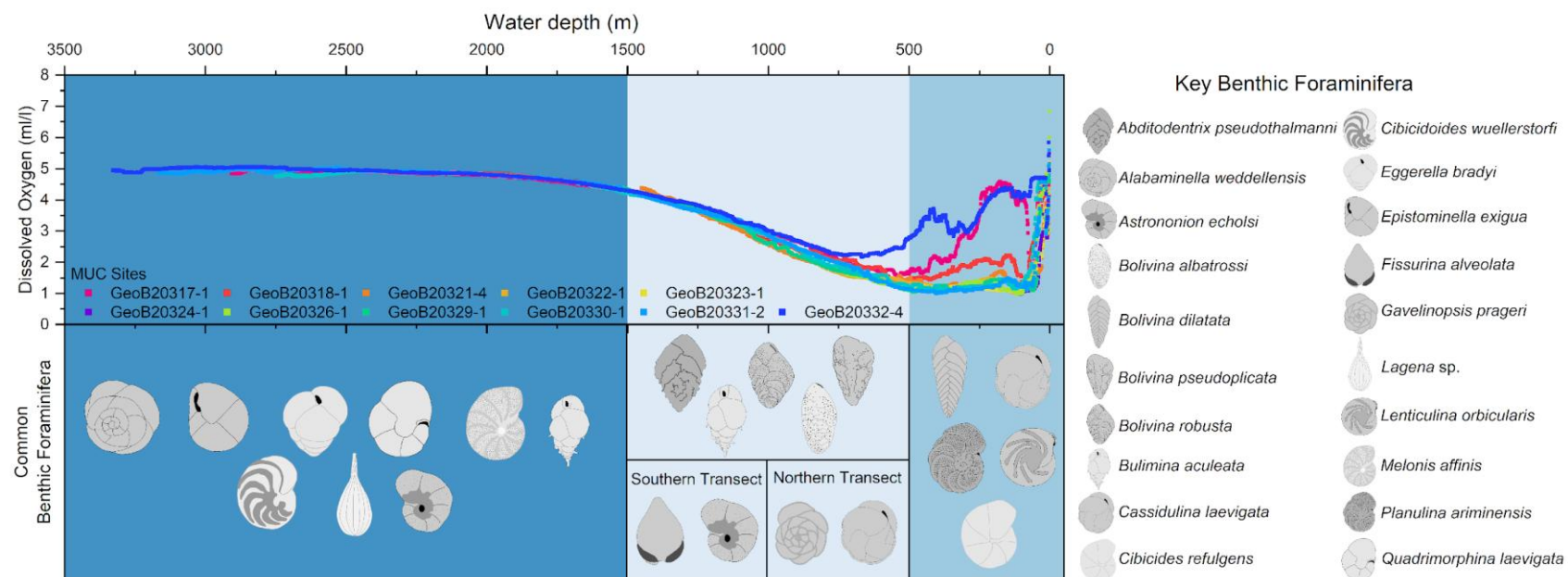


Figura 1. Distribuția și zonarea foraminiferelor benthonice din largul Capului Blanc, NW Africii. Datele de oxigen dizolvat (ml/l) au fost înregistrate în timpul expediției MSM48 ADOMIS (Zonneveld et al., 2017).

Capitolul 2. Variația Izotopilor Stabili și a Asociațiilor de Foraminifere în Largul Capului Blanc, NV Africii

Zonarea Foraminiferelor benthonice

Studiul asociațiilor de foraminifere benthonice din zona Capului Blanc a evidențiat o zonare clară, determinată de adâncime, disponibilitatea nutrienților și oxigenul dizolvat. În zona costieră (ape puțin adânci), predomină *Cassidulina laevigata*, o specie infaunală adaptată la ape calde, bogate în hrană și oxigen. Alte specii comune, precum *Bolivina dilatata* și *Bolivina robusta*, sunt asociate cu aporturi ridicate de materie organică. La adâncimi moderate (~500 m), asociațiile sunt dominate de *Planulina ariminensis* și *Cibicides refulgens*, specii care se hrănesc cu particule din suspensie, reflectând strategii alimentare specifice.

În zonele bathiale medii și inferioare (500–1500 m), asociațiile sunt adaptate la condiții de oxigen redus (OMZ). *Abditodentrix pseudothalmanni* și *Bulimina aculeata* prosperă în medii cu productivitate ridicată și oxigen limitat. Pe aliniamentul sudic, prezența unui canion influențează distribuția speciilor, cu *Fissurina alveolata* absentă în nord, probabil din cauza preferințelor de microhabitat.

La adâncimi abisale (>1500 m), apele bine oxigenate de către curentul Curentul de Adâncime Nord Atlantic (NADW) favorizează specii oportuniste legate de fitodetritus, precum *Alabaminella weddellensis* și *Epistominella exigua*. Acestea colonizează sedimente în perioadele de export sporadic de materie organică, în timp ce *Astrononion echolsi* abundă între pulsațiile de productivitate.

Foraminifere Planctonice și Factori ai Productivității Superficiale

La suprafața oceanului, *Globigerina bulloides* și *Globigerinita glutinata* domină în zonele de șelf, fiind indicatori ai upwelling-ului și proliferării fitoplanctonului. Spre larg, *Neogloboquadrina incompta* devine predominantă, asociată cu aprovizionarea sezonieră de nutrienți din praful saharian. Acest praf, transportat de către Zona de Convergență

Intertropicală (ITCZ), stimulează explozii de productivitate de scurtă durată, reflectate în variațiile $\delta^{13}\text{C}$ ale *Globigerinoides ruber*.

Fluctuații Izotopice

Analiza $\delta^{13}\text{C}$ speciilor de *Cibicidoides wuellerstorfi* (epibenthonică) și *Uvigerina peregrina* (endobenthonică) a evidențiat diferențe semnificative. În zonele costiere, valorile $\delta^{13}\text{C}$ mai ridicate reflectă un export eficient de carbon organic, susținut de upwelling. La adâncimi abisale, $\delta^{13}\text{C}$ devine negativ datorită remineralizării materiei organice în coloana de apă și influenței NADW. Diferența $\Delta\delta^{13}\text{C}$ dintre *G. ruber* și *C. wuellerstorfi* este mai mare la adâncimi, indicând un gradient superficial-profund accentuat de stratificare și aportul episodic de praf.

În zona OMZ (500–1500 m), $\Delta\delta^{13}\text{C}$ între *C. wuellerstorfi* și *U. peregrina* crește datorită remineralizării intense a materiei organice. La adâncimi abisale, această diferență se diminuează, reflectând condiții mai omogene și influența oxigenării NADW.

Astfel upwelling-ul și praful saharian controlează distribuția foraminiferelor planctonice și a semnăturilor izotopice, în timp ce condițiile bathimetrice și oxigenarea influențează comunitățile benthonice. Variațiile $\delta^{13}\text{C}$ reflectă eficiența exportului de carbon, cu zonele costiere caracterizate de fluxuri stabile, iar cele abisale de procese de remineralizare și stratificare (Fig. 2.). Aceste rezultate subliniază importanța factorilor regionali în modelarea ecosistemelor marine și a ciclurilor biogeochimice.

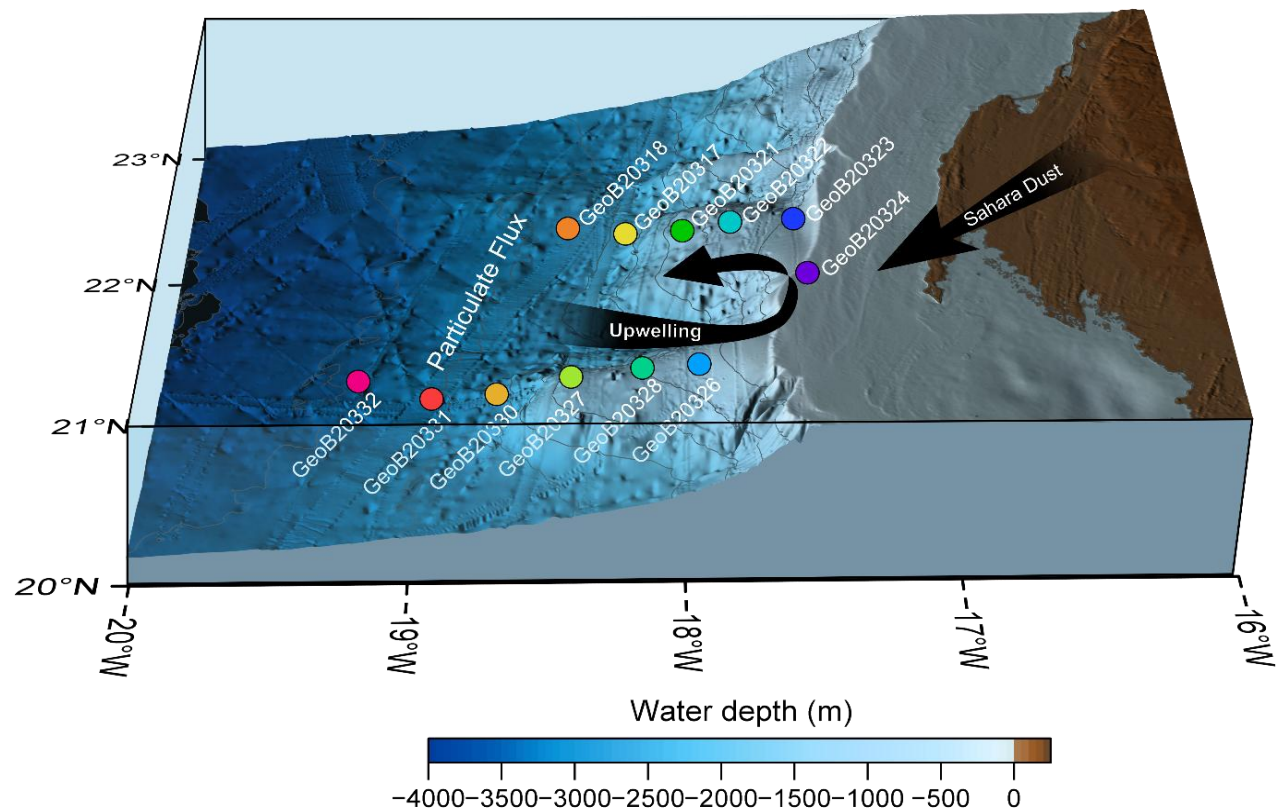


Figura 2. Factori de controli de productivitate în diferite zone bathimetrice offshore Cape Blanc, NV Africa.

Bibliografie

- Berger, W., Smetacek, V., and Wefer, G., 1989, Ocean productivity and paleoproductivity - An overview, p. 1-34.
- Boyd, P. W., 2002, Environmental factors controlling phytoplankton processes in the Southern Ocean¹: *Journal of Phycology*, v. 38, no. 5, p. 844-861.
- Coale, K. H., Johnson, K. S., Fitzwater, S. E., Gordon, R. M., Tanner, S., Chavez, F. P., Ferioli, L., Sakamoto, C., Rogers, P., Millero, F., Steinberg, P., Nightingale, P., Cooper, D., Cochlan, W. P., Landry, M. R., Constantinou, J., Rollwagen, G., Trasvina, A., and Kudela, R., 1996, A massive phytoplankton bloom induced by an ecosystem-scale iron fertilization experiment in the equatorial Pacific Ocean: *Nature*, v. 383, no. 6600, p. 495-501.
- Guerreiro, C. V., Ziveri, P., Cavaleiro, C., and Stuut, J. B. W., 2024, Coccolith-calcite Sr/Ca as a proxy for transient export production related to Saharan dust deposition in the tropical North Atlantic: *Scientific Reports*, v. 14, no. 1, p. 4295.
- Hagen, E., 2001, Northwest African upwelling scenario: *Oceanologica Acta*, v. 24, p. 113-128.
- Huneus, N., Schulz, M., Balkanski, Y., Griesfeller, J., Prospero, J., Kinne, S., Bauer, S., Boucher, O., Chin, M., Dentener, F., Diehl, T., Easter, R., Fillmore, D., Ghan, S., Ginoux, P., Grini, A., Horowitz, L., Koch, D., Krol, M. C., Landing, W., Liu, X., Mahowald, N., Miller, R., Morcrette, J. J., Myhre, G., Penner, J., Perlwitz, J., Stier, P., Takemura, T., and Zender, C. S., 2011, Global dust model intercomparison in AeroCom phase I: *Atmos. Chem. Phys.*, v. 11, no. 15, p. 7781-7816.
- Jickells, T. D., An, Z. S., Andersen, K. K., Baker, A. R., Bergametti, G., Brooks, N., Cao, J. J., Boyd, P. W., Duce, R. A., Hunter, K. A., Kawahata, H., Kubilay, N., laRoche, J., Liss, P. S., Mahowald, N., Prospero, J. M., Ridgwell, A. J., Tegen, I., and Torres, R., 2005, Global Iron Connections Between Desert Dust, Ocean Biogeochemistry, and Climate: *Science*, v. 308, no. 5718, p. 67-71.
- Jorissen, F. J., Wittling, I., Peypouquet, J. P., Rabouille, C., and Relexans, J. C., 1998, Live benthic foraminiferal faunas off Cape Blanc, NW-Africa: Community structure and microhabitats: *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 45, no. 12, p. 2157-2188.

- Kolber, Z. S., Barber, R. T., Coale, K. H., Fitzwater, S. E., Greene, R. M., Johnson, K. S., Lindley, S., and Falkowski, P. G., 1994, Iron limitation of phytoplankton photosynthesis in the equatorial Pacific Ocean: *Nature*, v. 371, no. 6493, p. 145-149.
- Lutze, G. F., and Coulbourn, W. T., 1984, Recent benthic foraminifera from the continental margin of northwest Africa: Community structure and distribution: *Marine Micropaleontology*, v. 8, no. 5, p. 361-401.
- Mittelstaedt, E., 1983, The upwelling area off Northwest Africa—A description of phenomena related to coastal upwelling: *Progress in Oceanography*, v. 12, no. 3, p. 307-331.
- Weis, J., Chase, Z., Schallenberg, C., Strutton, P. G., Bowie, A. R., and Fiddes, S. L., 2024, One-third of Southern Ocean productivity is supported by dust deposition: *Nature*, v. 629, no. 8012, p. 603-608.
- Zonneveld, K., Albert, M., Boom, L., Donner, B., Ebersbach, F., Friese, C., Gray, D., Guerreiro, C., Klann, M., Koster, B., Lübken, B., Maeke, M., Rochholz, F., Rüßbult, A., Silje, L., Stuut, J.-B., Versteegh, G., and Wu, W., 2017, Aerobic Degradation of particulate Organic Matter and benthic microbial turnover rates reflecting ocean redox conditions off NW Africa (ADOMIS) - Cruise No. MSM48 - November 2 - November 25, 2015 - Ponta Delgada (Portugal) - Las Palmas (Spain): DFG-Senatskommission für Ozeanographie;, 2195-8483.