

# Myöhäisproterotsooiset ilmastonmuutokset Tutkimuksia Etelä-Brasiliassa

TONI EEROLA

## Johdanto

Diamiktiitti on ei-geneettinen termi huonosti lajittuneille, matriksivaltaisille konglomeraateille (kuva 1). Diamiktiitit voivat kertoa mm. muinaisista jääkausista, edustaen tilliittejä tai jäätikön edustan massavyörymiä. Tässä sen lohkareet, klasstit, ovat avainasemassa, koska niistä voivat löytyä diagnostiset uurteet ja hioutumispinnat.

Myöhäisproterotsooiset diamiktiitit ovat olleet pitkään kansainvälisen huomion kohteena. Aikakauteen liittyvässä keskustelussa on sekä jäätikköfriikkejä, jotka näkevat "tilliittejä" joka puolella, että kriittisempiä massaliikuntointoilijoita, jotka taas tapaavat katastrofaalisia mutavyöryjä kaikkialla. Tässä piilee yksi tuon aikakauden avainkysymyksistä: diamiktiittien alkuperän tulkinta. 1950-luvulle asti oli tavallista tulkita kaikki muinaiset diamiktiitit "tilliiteiksi". Kuitenkin silloin alkaneen syvänmeren tutkimuksen yhteydessä todettiin, että mm. turbidiitteihin liittyvät vedenalaiset mutavyöryt voivat aiheuttaa samanlaisia kerrostumia (Crowell 1957).

Monia myöhäisproterotsooisia diamiktiittejä on väitetty jäätikkösyntyisiksi ja viitteiksi maail-

manlaajuisista jääkausista (Hoffman *et al.* 1998). Joitakin niistä on kuitenkin hiljattain tulkittu ei-glasiaalisiksi, kuten Pohjois-Norjan Varangerin vuonossa sijaitsevaa, klassista Bigganjargan "tilliittiä"/Reuschin "moreenia" (Smalfjord-muodostuma, ks. Arnaud ja Eyles 2002). Rice ja Hoffman (2000) taas tulkitsivat, ettei kyseessä olisi tilliitti, vaan glasiogeeninen mutavyöry. Keskustelu osoittaa, ettei muinaisten diamiktiittien alkuperän selvittäminen ole helppoa. Se on johtanut monien glasiogeenisiksi väitettyjen muodostumien uudelleen tarkasteluun. Jääkausista sinänsä ei ole epäilystä; myöhäisproterotsoois-kambrikan suuret ympäristön- ja ilmastonmuutokset näkyvät myös diamiktiittien alla ja päällä tavattujen karbonaattikivien C- ja Sr-isotooppiikäyrissä (Halverson *et al.* 2005). Tosin jääkausien lukumäärästä ja jäätikköjen levinneisyydestä väitellään. Niitä on määritetty vähintään kolme (Halverson *et al.* 2005): Sturtian (<746–720 Ma), Marinoan (663–636 Ma) ja Gaskiers (580 Ma). Ne ovat keskeisiä johtolankoja myöhäisproterotsooisin historian selvittämisessä (Knoll 2000).

Myöhäisproterotsooisia jäätikkömuodostumia tavataan myös muinaisen Gondwana-mantereen



Kuva 1. Myöhäisproterotsooinen diamiktiitti Damara-vyöhykkeen glasiogeenisessä Ghaub-muodostumassa Namibiassa. Kuva: T. Eerola.

*Fig. 1. A Neoproterozoic diamictite within the glaciogenic Ghaub Formation of the Damara Belt, Namibia. Photo by the author.*

GEOLOGI 58 (2006)

Taulukko 1. Camaquã-Santa Bárbara -altaan stratigrafia (Paim *et al.* 2000, Pelosi ja Fragoso-Cesar 2003, Janikian *et al.* 2004,) ja muodostumien iät (Hartmann *et al.* 2000, Paim *et al.* 2000), verrattuna Namibian myöhäisproterotsooiseen stratigrafiaan ja jääkausiin (Germs 1995, Gaucher *et al.* 2005, Halverson *et al.* 2005). Lavras do Sulin alueen yksiköt kursivoilla (Kraemer ja Eerola 1991, Eerola 1995).

Table 1. The stratigraphy of the Camaquã-Santa Bárbara basins (Paim *et al.* 2000, Pelosi and Fragoso-Cesar 2003, Janikian *et al.* 2004,) and the ages of formations (Hartmann *et al.* 2000, Paim *et al.* 2000), compared with the Neoproterozoic stratigraphy of Namibia and glaciations (Germs 1995, Gaucher *et al.* 2005, Halverson *et al.* 2005). Units present at the Lavras do Sul region are written in italic (Kraemer and Eerola 1991, Eerola 1995).

Neoproterozoic Glaciations in Namibia	<u>Camaquã Supergroup</u> (Southern Brazil) Allogroups	Alloformations and their characteristics
CAMBRO-ORDOVICIAN  <b>Fish River Subgroup, Nama Supergroup:</b> red beds (greenhouse climate)	<b>Guaritas</b> (540-470 Ma) Cratonization	<b>Varzinha:</b> alluvial fan and deltaic sandstones, desiccation cracks
		<b>Pedra Pintada:</b> aeolian sandstones, "Rodeio Velho andesites"
<b>Schwartzrand Subgroup, Nama Supergroup:</b> supposed glacials(?)	<b>Santa Bárbara</b> (559-540 Ma)	<b>Pedra do Segredo:</b> braid-delta sandstones and conglomerates, desiccation cracks
		<b>Santa Fé:</b> alluvial and fluvial conglomerates, sandstones, and rhythmic shales, desiccation cracks
NEOPROTEROZOIC	<b>Cerro do Bugio</b> (573-559 Ma)	<b>Serra dos Lanceiros:</b> deltaic sandstones, desiccation cracks
		<b>Acampamento Velho:</b> acid volcanism
<i>Gaskiers glaciation</i> - (~580 Ma) <b>Numees Fm.,</b> Port Nolloth Group, Gariep Belt	<i>Bom Jardim</i> (592-573 Ma)	<i>Picada das Graças:</i> alluvial and lacustrine conglomerates, sandstones, diamictites, rhythmic shales with limestones, desiccation cracks
		<i>Hilário:</i> ~592 Ma, shoshonitic andesites, basalts, rhyolites and pyroclastics
		<b>Cerro da Angélica:</b> alluvial sandstones, shales and pebbly sandstones, peperites
		<i>Maricá</i> (~620-600 Ma) Dom Feliciano Orogeny, basin installation
<i>São Rafael:</i> turbidites, tempestites		
<i>Marinoan glaciation-</i> (663-636 Ma) <b>Ghaub Fm.,</b> Damara Belt	<b>Non-deposition or un-preservation</b>	<i>Passo da Promessa:</i> sandstones, braided rivers
<i>Sturtian glaciation</i> (<746-720 Ma) <b>Chuos Fm.,</b> Damara Belt	<b>Vila Nova Belt</b> (850-700 Ma) São Gabriel Orogeny	Gneisses, amphibolites, ophiolites, metagranitoids, schists, marbles, diamictites, and BIFs.

alueilla, kuten Namibiassa (kuva 1), Länsi-Afri-  
kassa, Brasiliassa, Uruguaiassa ja Argentiinassa (ks.  
Eerola 2001). Etelä-Brasilian myöhäisproterotsoo-  
isten diamiktiittien tutkimukset kuuluvat osaltaan  
väitöskirjaani “*Myöhäisproterotsoois-kambrikau-  
den ilmastomuutokset Etelä-Brasiliassa*” jota  
valmistelen Helsingin yliopiston Geologian lai-  
tokselle, prof. Juha Karhun ohjauksessa. Hanke  
liittyy IGCP 478 *Neoproterozoic-Early Palaeozoic  
Events in SW Gondwana-*, IGCP 493 *Rise and fall  
of the Vendian biota-*, ja IGCP 512 *Neoproterozoic  
ice ages*-projekteihin.

## Alueellinen geologia

Tutkimusalue jakautuu kahteen: Camaquã-Santa  
Bárbara-allas Rio Grande do Sulin osavaltiossa  
(RS) sekä Itajaí-allas Santa Catarinan osavaltiossa  
(SC, kuva 2). Ne ovat myöhäisproterotsoois-kam-  
brikautisia ja korreloitavia. Namibian Kalahari ja  
Rio de la Plata Kraton törmäsivät tuolloin, muo-  
dostaen Brasiliano-Pan Afrikan -vuorijonopoimu-  
tuksen, jonka seurauksena altaat syntyivät (Basei  
*et al.* 2000, kuva 2). Altaat täyttyivät konglome-  
raateista, hiekka- ja savikivistä sekä vulkaniiteista  
vyörykeila-, palmikkojoki-, delta-, järvi- ja me-  
riympäristöissä Brasiliano-orogeenian loppuvaihees-  
sa, Marinoanin jääkauden jälkeen, eli n. 620 Ma  
lähtien. Sedimentaatio jatkui Gaskiers-jääkauden  
aikana (580 Ma), aina ordovikikaudelle asti (Basei  
*et al.* 1998, Hartmann *et al.* 2000, taulukko 1).

## Myöhäisproterotsooisia diamiktiitteja Lavras do Sulissa, Etelä-Brasiliassa

Kartoittaessani Lavras do Sulin aluetta (RS)  
vuonna 1991 löysin Passo da Areia -nimisestä pai-  
kasta myöhäisproterotsooisia diamiktiitteja, joita  
ei oltu ennen kuvailtu (Kraemer ja Eerola 1991,  
kuvat 2,3,4,5 ja 6). Ne ovat vulkaanisen Hilário-  
muodostuman päällä (ks. Eerola 1995, Lima ja  
Nardi 1998), jonka ikä on n. 592 Ma (Hartmann  
*et al.* 2000, Janikian *et al.* 2004, taulukko 1).

Passo da Areian diamiktiitit ja niihin liittyvät  
konglomeraatit, hiekka- ja savikivet (kuvat 6,7 ja  
8), kuuluvat *Picada das Graças* -muodostumaan  
(Janikian *et al.* 2004). Tämä ja Hilário-muodos-

tuma kuuluvat puolestaan *Bom Jardim* -ryhmään,  
joka on osa molassisen Camaquã – Santa Bárbara  
-altaan *Camaquã*-super-ryhmää (Paim *et al.* 2000,  
Janikian *et al.* 2004, taulukko 1).

Kraemer ja Eerola (1991) tulkitsivat diamiktiitit  
mutavyöryksi. Jääkauteen alkuperä kävi mielessä,  
mutta tarkempaan tutkimukseen ei ollut tuolloin  
aikaa. Koska kukaan ei ollut aikaisemmin puhu-  
nutkaan tuon ikäisestä jääkaudesta alueella, emme  
mekään uskaltaneet sitä ehdottaa.

Vuonna 1993 luin Suomessa Matti Erosen kir-  
jan Jääkausien jäljillä. Sain tietää että mm. Ete-  
lä-Brasilian kyljessä sijainneessa Namibiassa on  
myöhäisproterotsooisia jäätikkömuodostumia (tau-  
lukko 1). Gariép-superryhmän Numees-muodostu-  
ma on Gaskiers-jääkauden ikäinen (Gaucher *et al.*  
2005). Mitäpä jos Lavras do Sulin muodostumalla  
on sama alkuperä, eli sekin olisi maailmanlaajui-  
sen jääkauden aiheuttama?

Aloitin tutkimukset ja palasin alueelle vuonna  
1994. Nyt löytyi myös muodostuman kerrokselli-  
sista savikivistä klasteja (Eerola 1995). Savikivet  
ovat diamiktiittien päällä. Klastit voivat olla jää-  
vuorista järven pohjaan tippuneita lohkaraita. Esi-  
tin, että kyseessä on jäätikkömuodostuma (Eerola  
1995, Eerola ja Reis 1995).

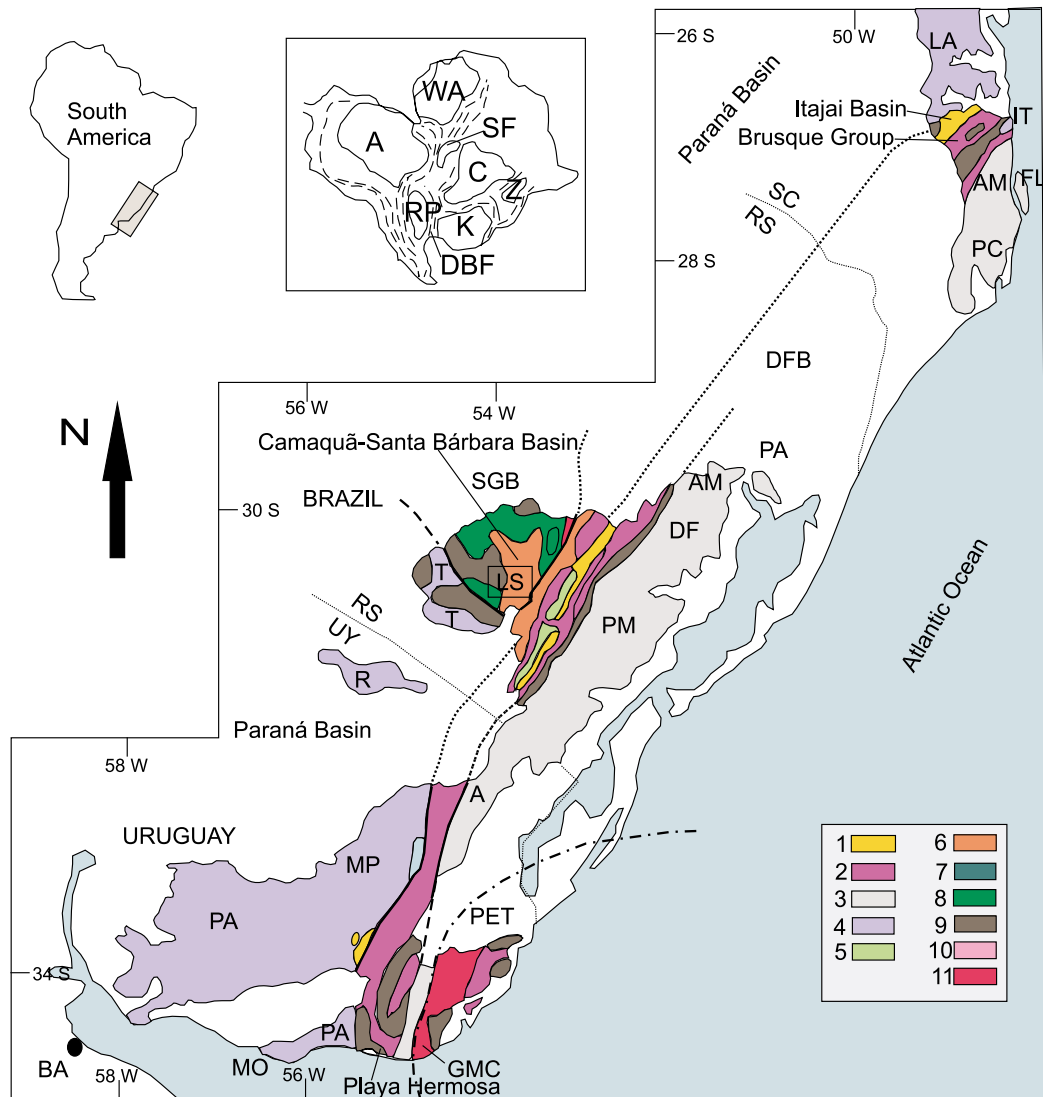
## Jäitä hattuun

Tutkiessani kirjallisuutta havaitsin kuitenkin,  
että muutkin prosessit voivat aiheuttaa samanlai-  
sia muodostumia, ilman jäätikön vaikutusta (mm.  
Crowell 1957, Bennett *et al.* 1996) Prekambrisiin  
kerroksellisiin savikiiviin klasteja on voinut kul-  
keutua myös vulkaanisten pommien, liukumisen tai  
vierimisen sekä järvi/merijään kuljetuksen myötä.  
En saanut kuitenkaan tilaisuutta jatkaa tutkimuksia  
vaan aihe piti toistaiseksi unohtaa.

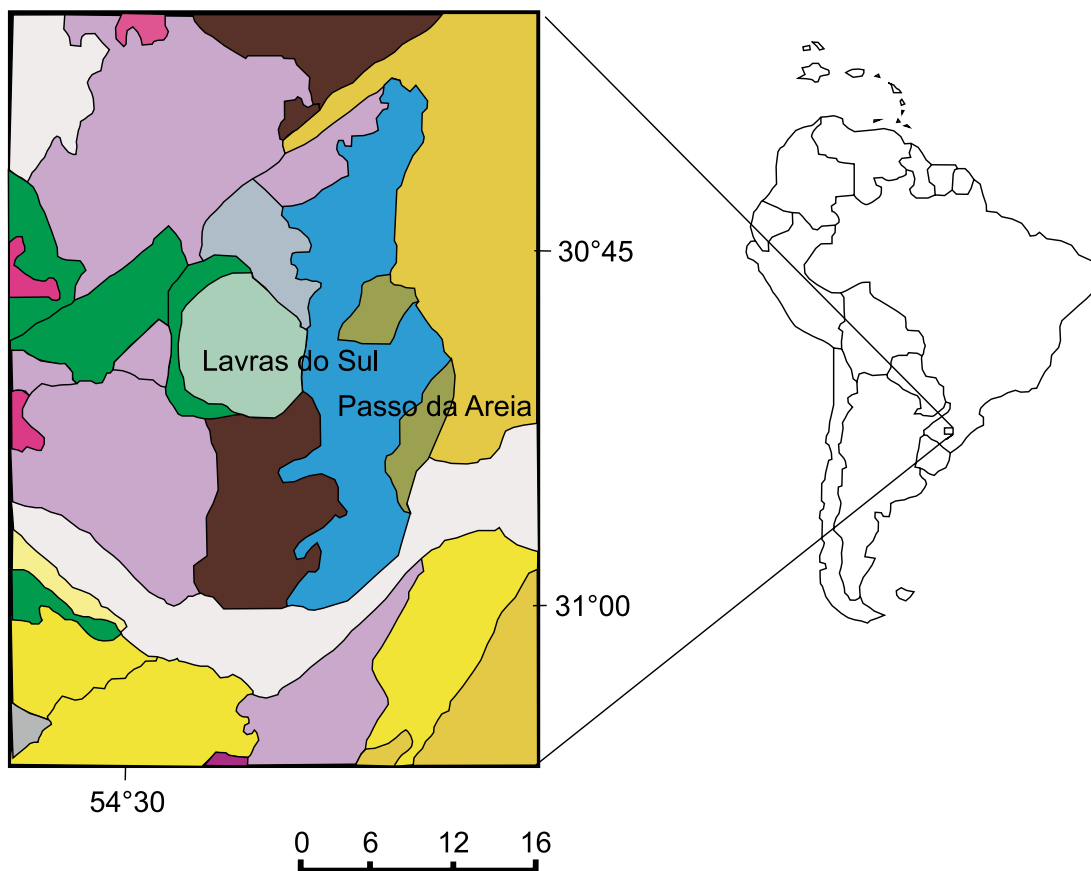
## Tutkimuksia Rio Grande do Sulin osavaltiossa

Diamiktiitit eivät kuitenkaan jättäneet minua  
rauhaan ja vuonna 2001 saatoin jatkaa tutkimuk-  
siani.

Lavras do Sulissa on tutkittu Passo da Areia  
-kerrossarjaa sekä sen savikivissa esiintyviä klas-  
teja (Eerola ja Gofferman 2005). Suurin osa klas-  
teista on vulkaanisia (andesiitteja ja ryoliitteja,  
GEOLOGI 58 (2006)



Kuva 2. Etelä-Brasilian ja Uruguain geologinen kartta (muutettu Basei *et al.* 2000 kartasta).  
 Fig. 2. Geological map of southern Brazil and Uruguay (after Basei *et al.* 2000). A=Amazonian Craton; RP=Rio de la Plata Craton; DFB=Dom Feliciano Belt; K=Kalahari Craton; C=Congo Craton; Z=Zambia Craton; SF=São Francisco Craton; WA=West African Craton. Dom Feliciano Belt (DFB), 1 – Foreland basins: Itajai, Camaquã, Arroio del Soldado-Piriápolis; 2-Schist Belts and intrusive granitoids: Brusque Group, Lavalleja Group; 3-Granitoid Belt: Florianópolis Batholith (AM, PG), Pelotas Batholith (AM, PC, PM), Aiguá Batholith (A); 4-Basement inliers: Morro do Boi, Encantadas, Punta Rasa; 5-Foreland, internally preserved of Neoproterozoic overprint: Luís Alves Microplate (LA) and Piedras Alta Terrane (PA); affected by Neoproterozoic heating and granitogenesis: Taquarém (T), Rivera (R) and Nico Perez (NP); São Gabriel Block (SGB), 6-Foreland basins (Santa Bárbara); 7-Intrusive granitoid (São Sepé, Caçapava and São Gabriel); 8-Metamorphic rocks (Cambai and Vacacai Groups); Punta del Este Terrane (PET), 9-Intrusive granitoid (Santa Tereza and San Ignacio); 10-Metasedimentary cover (Rocha Group); 11-Basement (orthogneiss with metasedimentary enclaves).  
 Geographic references: SC – Santa Catarina State, RS – Rio Grande do Sul State; FL – Florianópolis, PA – Porto Alegre; IT – Itajai, LS – Lavras do Sul, MO – Montevideo, BA – Buenos Aires.  
 GEOLOGI 58 (2006) 167



- Palaeozoic and Quarternary cover
  - Saibro Intrusive Suite
  - High-K Calk-Alkaline Granitic Rocks
  - Santa Barbara and Quaritas Groups (Neoproterozoic-Cambrian Limit)
  - Monzonitic to Quartz-Monzoritic Rocks
  - Lavras Granite Complex
  - Picada das Graças Formation
  - Hilário Formation
  - Maricá Group
  - Metagranitic and Gneissic Complexes
  - Metavolcanic and Metasedimentary Sequences
  - Santa Maria Chico Granulitic Complex
- } Bom Jardim Group

} Vila Nova Belt

Kuva 3. Lavras do Sulin geologinen kartta (muutettu Lima ja Nardi 1998 kartasta).  
 Fig. 3. Geological map of the Lavras do Sul region (after Lima and Nardi 1998).



Kuva 4. Passo da Areia -kerrosarjan turbidiittiosa (kerroksellisten hiekka- ja savikivien syklinen vuorottelu). Alla diamiktiittien klasteja. Ylimpänä kerroksellinen savikivi. Picada das Graças -muodostuma, Lavras do Sul, Rio Grande do Sulin osavaltio. Kuva: Marcelo Gofferman.

*Figure 4. The turbiditic part of the Passo da Areia Sequence (alternation of layered sandstones and mudstones). Below, diamictite clasts. At the top, a layered mudstone. Picada das Graças Formation, Lavras do Sul, Rio Grande do Sul State. Photo by Marcelo Gofferman.*



Kuva 5. Vulkaaninen klasti massiivisessa savikivessä, muodostaen diamiktiitin. Kuva: T. Eerola.

*Figure 5. Volcanic clast in a massive shale, composing a diamictite. Photo by the author.*



Kuva 6. Diamiktiitti Camaquã Chico -joen rannalla. Sitä peittävät kerrokselliset hiekka- ja savikivet. Kuva: T. Eerola.

*Kuva 6. A diamictite at a margin of the Camaquã Chico-River. It is covered by layered shale and sandstones. Photo by the author.*



Kuva 7. Konglomeraatteja diamiktiitin alla olevassa yksikössä. Kuva: T. Eerola.  
*Figure 7. Conglomerates of the underlying unit. Photo by the author.*



Kuva 8. Ristikerroksellista hiekkakiveä ja konglomeraattia. Kuva: T. Eerola.  
*Figure. 8. Cross-stratified sandstone and conglomerate. Photo by the author.*



Kuva 9. Pommi vai pulteri? Vulkaaninen, porfyriittinen klasti kerroksellisessa savikivessä. Sen pituusakseli on pystysuorassa kerroksellisuuteen nähden, mikä viittaa järvijää- tai jäävuorikuljetukseen. Kuva: T. Eerola.  
*Fig. 9. A bomb or dropstone? A volcanic, porphyritic clast within a layered mudstone. Its long axis is perpendicular to stratification, suggesting transport by lake ice or iceberg. Photo by the author.*

kuva 9), mutta on myös graniittisia, sedimentaarisia sekä juonikvartsisia palloja. Jotkut ovat melko kookkaita, kulmikkaita ja elipsoidin muotoisia. Suurin on 33 cm x 16 cm x 19 cm (kuva 10). Klastit muodostavat jääjärvi muodostumille tyypillisen *hydrodynaamisen paradoksin*.

Brasilian Geologian tutkimuskeskuksen geologi Ricardo da Cunha Lopes (kirjallinen tiedonanto 1996) väitti näitä kuivalle maalle kerrostuneeseen tuhkaan pudonneiksi vulkaanisiksi pommeiksi. Kyseessä on kuitenkin vedenalainen fan-delta-muodostuma (Kraemer ja Eerola 1991, Eerola 1995, Eerola ja Gofferman 2005)(kuva 4). Hänen mukaansa klasteissa on nopeaan jäähtymiseen liittyviä *quench*-rakenteita. Peperiittejä, eli sedimentin ja osittain sulassa tilassa olevien klastien välistä vuorovaikutusta on havaittu joissakin diamiktiitin klasteissa. Mutavyöry on luultavasti kaapannut laavaa mukaansa.

Jos kyseessä olisivat maahan pudonneet pommit, Waitt *et al.* (1996) mukaan nämä jättäisivät

maahan iskeytyessään kolme kertaa niiden läpimittaa suuremmat kraaterit, jotka deformaatiollaan osoittavat impaktisuunnan. Muodostumassa tavattujen klastien alla syklisesti kerrostuneet savikivikerrostumat ovat ainoastaan hienosti klastin muotoa mukaillen taipuneet ja yksi niistä osoittaa pystysuoran putoamisen (kuva 9). Tässä jäävuori tai järvijää ovat mahdollisia kuljettajia. Vulkanisesta ympäristöstä huolimatta pommit eivät ole savikivissä tavattujen klastien alkuperä, vaikka näitäkin voi vielä löytyä.

Lohkareista ei löytynyt uurteita eikä hioutumispintoja ja ne ovat lähialueelta peräisin. Joidenkin lohkaroiden pituusakselit ovat kerroksellisuuden kanssa samansuuntaisia, mutta muodostuma ei ole deformoitunut. Nämä tunnusmerkit viittaavat eigliasialiseen alkuperään (Crowell 1957, Bennett *et al.* 1996). Lohkareet ovat luultavasti liukuneet altaaseen. Tämä on tuttu ilmiö mm. turbidiiteissa (Crowell 1957, Bennett *et al.* 1996). Kerrossarjassa on näihin viittaavia piirteitä, kuten hiekka- ja



Kuva 10. Brasilian Geologian tutkimuskeskuksen (CPRM) geologi Marcelo Gofferman kaivaa kookasta klastia (vasaran vieressä) esiin kerroksellisesta savikivestä. Kuva: T. Eerola.

*Figure 10. Geologist Marcelo Gofferman from the Geological Survey of Brazil (CPRM) digging a big clast (beside the hammer) from laminated shale. Photo by the author.*



savikivien syklinen vuorottelu sekä näiden väliset vaihettuvat kontaktit (Kraemer ja Eerola 1991, Eerola 1995, kuva 4).

Diamiktiitin pallot todettiin kuitenkin harvoiksi (kuva 5), eikä niissä ole jäätikkökuljetukseen viittaavaa. Luultavasti kyseessä onkin vulkaaninen mutavyöry, *lahar*. Lahar voi muodostua kahdella tavalla (esim. Thouret 1999): 1) rankkasade tulivuoren rinteellä tai 2) tulivuoren purkaus, joka sulattaa lumen ja jään tulivuoren huipulla. Vesi kyllästää irtonaisen tuhkan, joka valuu rinnettä alas. Tällainen mutavyöry voi kuljettaa kookkaiden lohkarkeitä.

Diamiktiitteja on nyt paikannettu ainakin neljässä eri kerroksessa. Kerrossarjan glasiaalivaikutus on kuitenkin epäselvä. Se on joka tapauksessa merkittävä muodostuma. Sen sedimenttikiviassosiaatio on ainutlaatuinen. Vastaavaa ei Etelä-Brasiliasta ole löytynyt. Vaikka selvää jäätikön vaikutukseen viittaavaa ole löytynyt, sen alkuperää ja levinneisyyttä tutkitaan edelleen.

## Tutkimuksia Santa Catarinan osavaltiossa

Tutkimuksia on tehty myös Brusque-ryhmässä ja Itajaí-altaassa (SC, kuva 2). Metadiamiktiitteja



Kuva 11. Pyörästynyt elipsoidin muotoinen klasti Brusque-ryhmän fylliiteissä, Cabeçudas-rannalla, lähellä Itajaí-kaupunkia, Santa Catarinan osavaltiossa. Kuva: T. Eerola.

*Figure 11. A rounded oblate clast in phyllites of the Brusque Group, Cabeçudas Beach, near the Itajaí Town, Santa Catarina State. Photo by the author.*

löydettiin Sturtianin jääkauden aikaisesta, metamorfoituneesta Brusque-ryhmästä (Eerola 2003, kuva 11). Valitettavasti deformaatio vaikeuttaa niiden alkuperän selvittämistä. Ne ovat kuitenkin samanlaisia ja samanikäisiä kuin Atlantin toisella puolella tavattavassa Chuos-jäätikkömuodostumassa Damara-vyöhykkeessä Namibiassa (ks. Germs 1995).

Itajai-ryhmän ikä on taas n. 600 Ma (Basei *et al.* 1998). Itajaín diamiktiitti-esiintymissä ei ole löytynyt jääkauteen viittaavaa. Diamiktiitteja on turbidiiteissa, liittyen eroosiokanavarakenteisiin. Ne edustavat turbidiittien mutavyöryjä (Basei *et al.* 1998, Eerola 2003). Marinoanin jääkauden merkkejä on turha etsiä tästä altaasta, koska se on sitä nuorempi; sen sijaan Gaskiers-jääkauden muodostumia voidaan vielä löytää. Diamiktiitit voivat mahdollisesti olla jäätikkömuodostumien distaalisia. Sellaista on tosin vaikea todistaa.

## Tulevia haasteita

Tutkimuksen tarkoituksena on osoittaa, onko Etelä-Brasilia kokenut myöhäisproterotsooisia jääkausia ja miten tuon ajan ilmastomuutokset ovat vaikuttaneet alueeseen. Etelä-Brasilian diamiktiittimuodostumat ja niihin liittyvät fasieksit inventoidaan. Näiden klasteista etsitään jäätikkökuljetukseen viittaavia merkkejä. Tämän lisäksi ilmastoon voi päästä käsiksi tutkimalla kivien savimineraaleja, geokemiaa, muuttumista ja provenanssia (esim. Nesbitt *et al.* 1996).

Argentiinan, Uruguain ja Etelä-Brasilian muodostaman Rio de la Plata Kratonin paikantaminen tuon ajan mantereiden rekonstruoinneissa on myös avainasemassa. Namibian ja Etelä-Brasilian välisen paleosijainnin määrittäminen on merkittävää, koska sillä voidaan päästä kiinni näiden leveysasteisiin ja näin hypoteettisiin ilmastoihin, joita voidaan vertailla. Paleomagneettiset mittaukset Lavras do Sulin alueella tehdään yhteistyössä Helsingin yliopiston Geofysiikan laitoksen prof. Lauri Pesosen kanssa. Tätä varten tarvitaan tarkat iänmääritykset, jotka tehdään yhdessä GTK:n FT Irmeli Mänttärin kanssa.

Muodostumissa esiintyvistä savikivistä tutkitaan mikrofossiilit. Näin määritetään, löytyykö kylmän ilmaston eliöindikaattoreita ja voidaanko niitä korreloida lähialueiden vastaaviin. Tämä tehdään yhdessä

teistyössä Helsingin yliopiston Luonnontieteellisen museon intendentin, FT Anneli Uutelan kanssa.

Vaikka myöhäisproterotsooiset jääkaudet olivat maailmanlaajuisia, niiden kerrostumia ei välttämättä löydetä kaikkialta, kuten ehkä Etelä-Brasiliasta. Voi olla, ettei Etelä-Brasilia kokenut niitä. Silloin siihen johtaneet syyt jäävät selvittettäviksi. Siitä lisää myöhemmin.

## Summary: Neoproterozoic climate changes. Research on Southern Brazil.

*The article deals with the research on Neoproterozoic diamictites in southern Brazil, namely in the Santa Bárbara Basin in the Rio Grande do Sul State (RS) and the Brusque, and Itajaí basins in the Santa Catarina State (SC). An inventory and assessment on diamictites and associated limestones facies is being made on this area. A detailed investigation is ongoing on the Passo da Areia Sequence in the Lavras do Sul region in RS. It belongs to the Picada das Graças Formation of the Bom Jardim Group, coeval with the Gaskiers glaciation (~580 Ma). The sequence was earlier proposed as glaciogenic by the author, but new investigations have shown ambiguous evidences, such as lack of striations and faceting on clasts. However, one bullet boulder was found, but this can have been dropped by seasonal ice. Some of the clasts in rhythmic shales were emplaced by sliding, and diamictites probably represent a lahar deposit.*

*Diamictites of the Itajaí Basin have also not shown glacial evidences. They are related with turbidites, representing subaqueous mudflows. Both units are younger than the Marinoan glaciation that ended at 636 Ma. However, local Gaskiers glacial deposits (580 Ma) are probable to be found. It is also possible, that the diamictites represent distal expressions of glacial deposits.*

*Neoproterozoic metadiamicrites were recently discovered by the author at the Cabeçudas Beach, near the Itajaí Town in SC. They belong to the Brusque Group that has age of 750–700 Ma. They are similar and coeval with the Chuos-Formation in Namibia that represents the Stur-*

*tian Glaciation. However, they seem to be just a lense, and the deformation difficults their interpretation.*

*The work is part of the author's PhD project "Neoproterozoic-Cambrian climate changes in southern Brazil", in preparation for the University of Helsinki. The present article is a contribution for the IGCP 478 Neoproterozoic-Early Paleozoic Events in SW Gondwana, IGCP 493 Rise and fall of the Vendian biota, and IGCP 512 Neoproterozoic ice ages.*

## Kirjallisuus – References

- Arnaud, E. ja Eyles, C.H. 2002. Glacial influence on Neoproterozoic sedimentation: the Smalfjord Formation, northern Norway. *Sedimentology* 49:765–788.
- Basei, M.A.S., Citroni, S.B. ja Siga Júnior, O. 1998. Stratigraphy and age of Fini-Proterozoic Basins of Paraná and Santa Catarina States, southern Brazil. *Boletim IG/USP* 29:195–216.
- Basei, M.A.S., Siga Junior, O., Masquelin, H., Harara, O.M., Reis Neto, J.M. ja Preciozzi, F. 2000. The Dom Feliciano Belt of Brazil and Uruguay and its foreland domain, the Rio de la Plata Craton. Framework, tectonic evolution and correlation with similar provinces of southwestern Africa. Teoksessa: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. ja Campos, D.A. (toim.). Tectonic evolution of South America. Rio de Janeiro: 31<sup>st</sup> International Geological Congress, 311–334.
- Bennett, M.R., Doyle, P. ja Mather, A.E. 1996. Dropstones: their origin and significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 121:331–339.
- Crowell, J.C. 1957. Origin of pebbly mudstones. *Geological Society of America Bulletin* 68:993–1010.
- Eerola, T. 1995. From ophiolites to glaciers? Review on geology of the Neoproterozoic-Cambrian Lavras do Sul region, southern Brazil. Teoksessa: Autio, S. (toim.). Geological Survey of Finland, Current Research 1993–1994. Geological Survey of Finland Special Paper 20:5–16.
- Eerola, T. 2001. Climate changes at the Neoproterozoic-Cambrian transition. Teoksessa: Zhuravlev, A. ja Riding, R. (toim.) The Ecology of the Cambrian Radiation. Columbia University Press, New York, s. 90–106.

- Eerola, T. 2003. Neoproterozoic diamictites in southern Brazil: A preliminary survey in the Santa Catarina State. Teoksessa: Frimmel, H.E. (toim.). Programme and Extended Abstracts. III International Colloquium Vendian-Cambrian of W-Gondwana. Cape Town: University of Cape Town, 22–25.
- Eerola, T. ja Gofferman, M. 2005. A Neoproterozoic diamictite-limestone association in the Bom Jardim Allogroup at Lavras do Sul, southern Brazil. Teoksessa: Cernuschi, F. (toim.). 2<sup>nd</sup> Symposium on Neoproterozoic – Early Paleozoic Events in Southwestern Gondwana. Windhoek, Geological Survey of Namibia, 14–16.
- Eerola, T. ja Reis, M.R. 1995. The Neoproterozoic glacial record and the Passo da Areia Sequence in the Lavras do Sul region, southern Brazil. Teoksessa: Heikinheimo, P. (toim.). International Conference on Past, Present and Future Climate. Publications of the Academy of Finland 6:52–55.
- Gaucher, C., Frimmel, H.E. ja Germs, G. 2005. Organic-walled microfossils and biostratigraphy of the Upper Port Sul Group (Namibia): implications for latest Neoproterozoic glaciations. *Geological Magazine* 142:539–559.
- Germs, G.J.B. 1995. The Neoproterozoic of southwestern Africa, with emphasis on platform stratigraphy and paleontology. *Precambrian Research* 73:137–151.
- Hartmann, L.A., Leite, J.A.D., Da Silva, L.C., Remus, M.V.D., McNaughton, N.J., Groves, D.I., Fletcher, R., Santos, J.O.S. ja Vasconcellos, M.A.Z. 2000. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of southern Brazil. *Australian Journal of Earth Sciences* 47:829–844.
- Halverson, G.P., Hoffman, P.F., Schrag, D.C. ja Rice, A.H. 2005. Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record. *The Geological Society of America Bulletin* 117:1181–1207.
- Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P. ja Schrag, D.P. 1998. A Neoproterozoic snow-ball Earth. *Science* 281:1342–1346.
- Janikian, L., De Almeida, R., Fragoso-Cesar, A.R., Martins, V.T.S., D’Agrella Filho, M.S., McReath, I. ja Dantas, E.L. 2004. Neoproterozoic to Early-Cambrian volcano-sedimentary successions of the Camaquã Basin, Rio Grande do Sul State, Brazil. Teoksessa: Boggiani, P.C., Faichild, T.R., Gesicki, A.L., Schmitt, R.S. ja Warren, L.V. (toim.). 1<sup>st</sup> Symposium on Neoproterozoic-Early Paleozoic Events in SW-Gondwana. São Paulo, IG/USP, 40–42.
- Knoll, A.H. 2000. Learning to tell Neoproterozoic time. *Precambrian Research* 100:3–20.
- Kraemer, G. ja Eerola, T. 1991. A geologia da Faixa VII. Projeto Lavras-Taboleiros. Trabalho de Graduação. Inédito. Porto Alegre, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 344 s.
- Lima, E.F. ja Nardi, L.V.S. 1998. The Lavras do Sul shoshonitic association: implications for the origin and evolution of Neoproterozoic shoshonitic magmatism in southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 11:67–77.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., McLennan, S.M. ja Keays, R.R. 1996. Effects of chemical weathering and sorting on the petrogenesis of siliciclastic sediments, with implications for provenance studies. *Journal of Geology* 104:525–542.
- Paim, P.S.G., Chemale Jr., F. ja Lopes, R. da C. 2000. A Bacia do Camaquã. Teoksessa: Holz, M. ja De Ros, L.F. (toim.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Centro de Investigação de Gondwana, s. 251–274.
- Pelosi, A.P.de M. ja Fragoso-Cesar, A.R.S. 2003. Proposta litoestratigráfica e considerações paleoambientais sobre o Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, 33:137–148.
- Rice, A.H.N. ja Hoffman, C.-C. 2000. Evidence for a glacial origin of Neoproterozoic III striations at Oaibaccannjar’ga, Finnmark, northern Norway. *Geological Magazine* 137:355–366.
- Thouret, J.C. 1999. Volcanic geomorphology – an overview. *Earth Science Review* 47:95–131.
- Waite, R.B., Mastin, L.G. ja Miller, T.P. 1996. Ballistic showers during Crater Peak Eruptions of Mount Spurr Volcano, summer 1992. *U.S. Geological Survey Bulletin* 2139:89–106.

**Toni Eerola**

Geologian laitios

PL 64

00014 Helsingin yliopisto

*toni.eerola@helsinki.fi*