

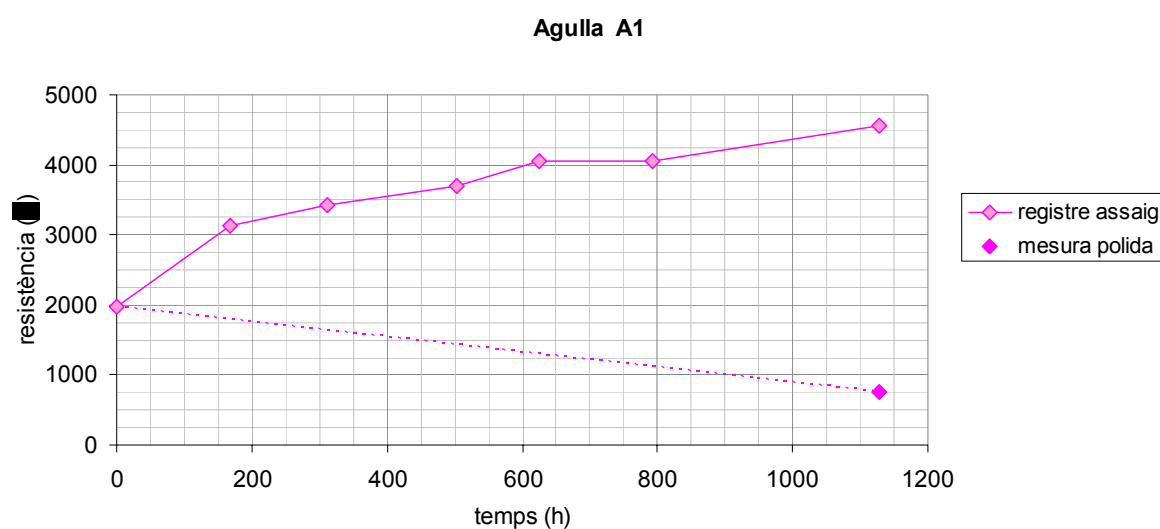
## Capítol 6

### Resultats

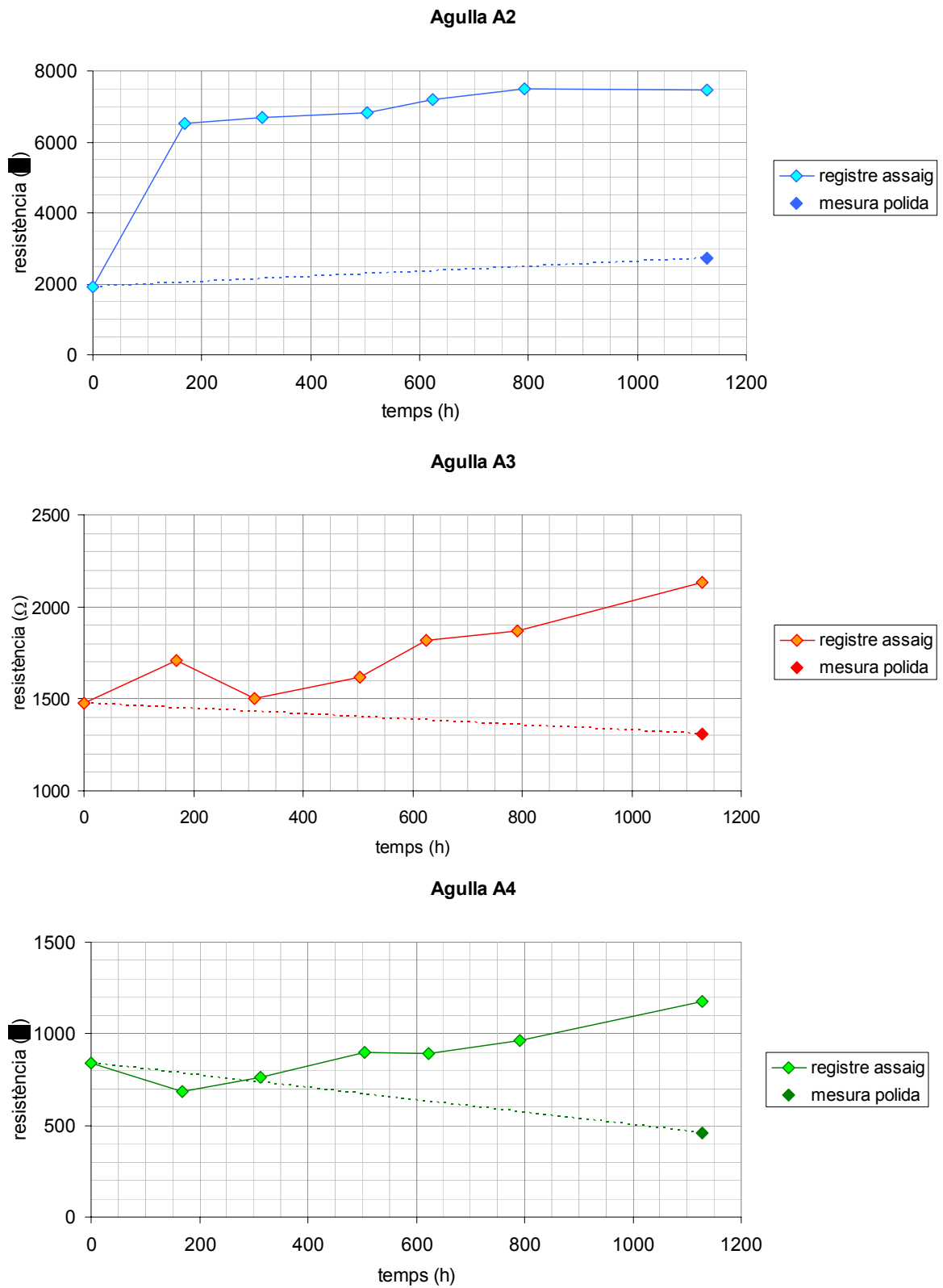
En aquest capítol es mostren els resultats obtinguts en els tres tipus d'assaigs realitzats, infiltració en bentonita-sorra, infiltració en sorra amb fins i penetració vertical de la sonda, aquest darrer realitzat tres cops. Del primer assaig, infiltració en bentonita-sorra, no s'han obtingut resultats conclouents perquè degut a la oxidació de les sondes, el registre de la resistència en funció del temps és creixent quan hauria de ser al contrari, ja que el contingut d'aigua en els porus va augmentant i la resistència, per tant, hauria d'anar minvant. Els altres assaigs, realitzats en sorres amb fins, han donat un resultat que s'ajusten més al que s'esperava. Finalment, es mostren els resultats de l'aplicació de tres dels models proposats en el capítol 2 per determinar la porositat a partir de la resistivitat mesurada.

### 6.1. Assaig d'infiltració en bentonita-sorra

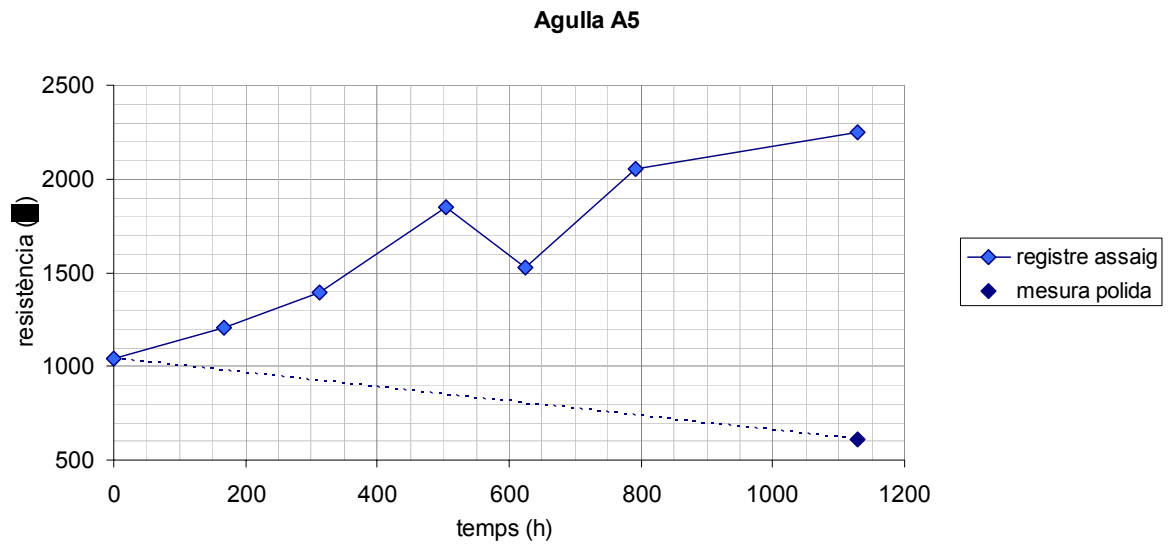
Com ja s'ha comentat anteriorment, la resistència mesurada en l'assaig d'infiltració en bentonita-sorra augmenta lleugerament en el temps quan el comportament que s'esperava era el contrari, és a dir, que la resistència mesurada minvés d'acord amb el creixent contingut d'aigua als porus. Un cop realitzat l'assaig i en vista dels resultats es van treure les agulles-sonda de la columna i es van polir per eliminar-ne la pàtina formada en el procés de corrosió. Un cop polides es van tornar a introduir en la columna procurant no deixar cap porus en l'extrem del forat que en fes variar la mesura. Llavors es va realitzar una nova mesura i es va poder veure que la resistència mesurada amb les puntes de les agulles polides era sensiblement menor que abans de polir-les, pel que es va arribar a la conclusió que la corrosió era la causa d'aquests augment de la resistència mesurada. En les gràfiques 6.1 a 6.3 es poden veure els registres de la resistència per a cada una de les agulles i la mesura de la resistència amb les agulles polides juntament amb la corba d'entrada d'aigua en la columna.



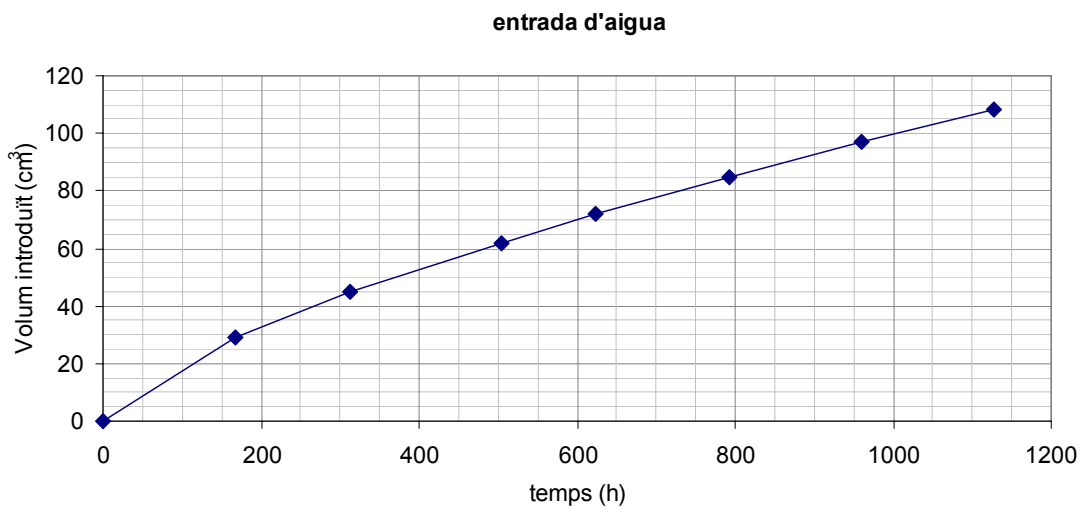
**Figura 6.1.** Registre de la resistència mesurada amb la sonda-agulla A1 en l'assaig d'infiltració en bentonita-sorra. Es pot veure que la mesura realitzada amb la punta de l'agulla polida marca una tendència decreixent de la resistivitat.



**Figura 6.2.** Registre de la resistència mesurada amb les sondes A2, A3 i A4, respectivament, en l'assaig d'infiltració en bentonita-sorra. L'agulla A2 és la que té un registre més poc coherent, amb un augment sobtat de la resistivitat mesurada i una tendència creixent amb la mesura realitzada després de polir la punta



**Figura 6.3.** Registre de la resistència mesurada amb la sonda A5 en l'assaig d'infiltració en bentonita-sorra.

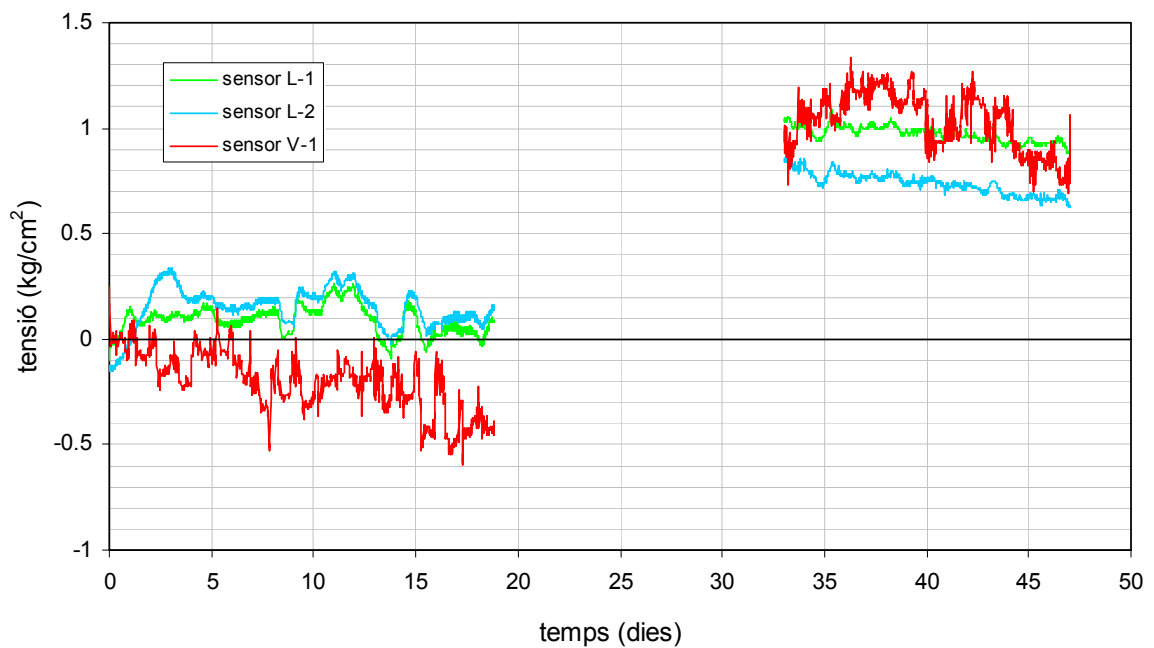


**Figura 6.4.** Gràfica que representa l'entrada d'aigua en la columna de sòl.

Tret de l'agulla A2, totes les altres donen una valor de resistència mesurada després de polir la punta menor que en l'inici de l'assaig, és a dir, com s'esperava. L'agulla A2 ja mostrava senyals de funcionament incorrecte en les calibracions i, en l'assaig, es pot veure que mostra una tendència diferent a les altres sondes i uns valors fora del rang en que es troben els de les mesures de les altres sondes.

La corba d'entrada d'aigua mostra un comportament linial, que denota un fluxe constant d'entrada d'aigua en la columna de sòl. Segons això, cada cop entra més aigua a la xarxa porosa de la bentonita-sorra i, per tant, la resistència del sòl hauria de disminuir i no a l'inrevés com mostren les gràfiques 6.1 a 6.3.

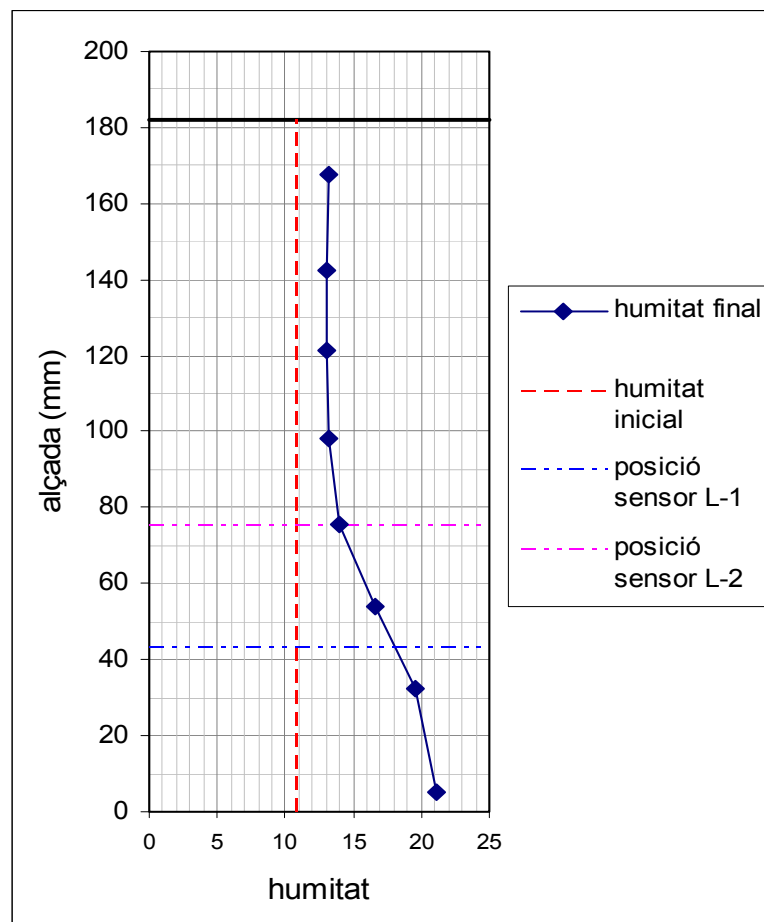
L'equip de registre de les tensions no funcionava correctament i va estar un període de temps en què l'adquiridor de dades no realitzava cap mesura. El registre de les tensions en funció del temps, per tant, està incomplet, li falta justament el tram de pujada de les tensions provocada per l'expansió de la bentonita en augmentar la humitat.



**Figura 6.5.** Registre de les tensions mesurades amb els dos sensors laterals L-1 i L-2, i el sensor vertical V-1 durant la realització de l'assaig d'infiltració en la mescla de bentonita i sorra. Com es pot veure, el tram de pujada de les tensions no està registrat degut a problemes de funcionament de l'adquiridor de dades.

En la gràfica 6.5 es pot veure que el registre de les tensions verticals, sensor V-1, presenta una oscil·lació important en les mesures i una tendència decreixent en el tram inicial, contràriament al comportament esperable en aquest cas. Els sensors laterals, tret d'un petit tram inicial de tres dies, segueixen el mateix comportament, tot i que el sensor L-2 enregistra una tensió major que L-1, també contràriament al comportament esperable, ja que

es troba més proper a l'extrem per on hi entra l'aigua i, per tant assoleix tensions majors abans que L-2 perquè s'hidrata abans. El tram final mostra ja resultats més ajustats al que s'espera en aquest cas. El sensor L-1 mostra una tensió força constant, però amb una lleugera tendència decreixent, amb valors compresos entre 0.8 i 1.05 kg/cm<sup>2</sup>, i el sensor L-2 mostra un comportament idèntic, però amb valors compresos entre 0.6 i 0.9 kg/cm<sup>2</sup>, menors que els de L-1, aquest fet si que resulta coherent ja que el front de saturació arriba a la zona de L-1 en primer lloc i després a la de L-2, de manera que a l'alçada en la que es troba el sensor L-1 el material presenta una humitat més elevada i genera una tensió d'expansió també major. Pel que fa al sensor V-1, segueix mostrant una important oscil·lació però en aquest tram mostra uns valors de tensió més elevats, entre 0.7 i 1.3 kg/cm<sup>2</sup>, generalment per sobre dels valors de L-1 i L-2, i mostrant també una certa tendència decreixent.



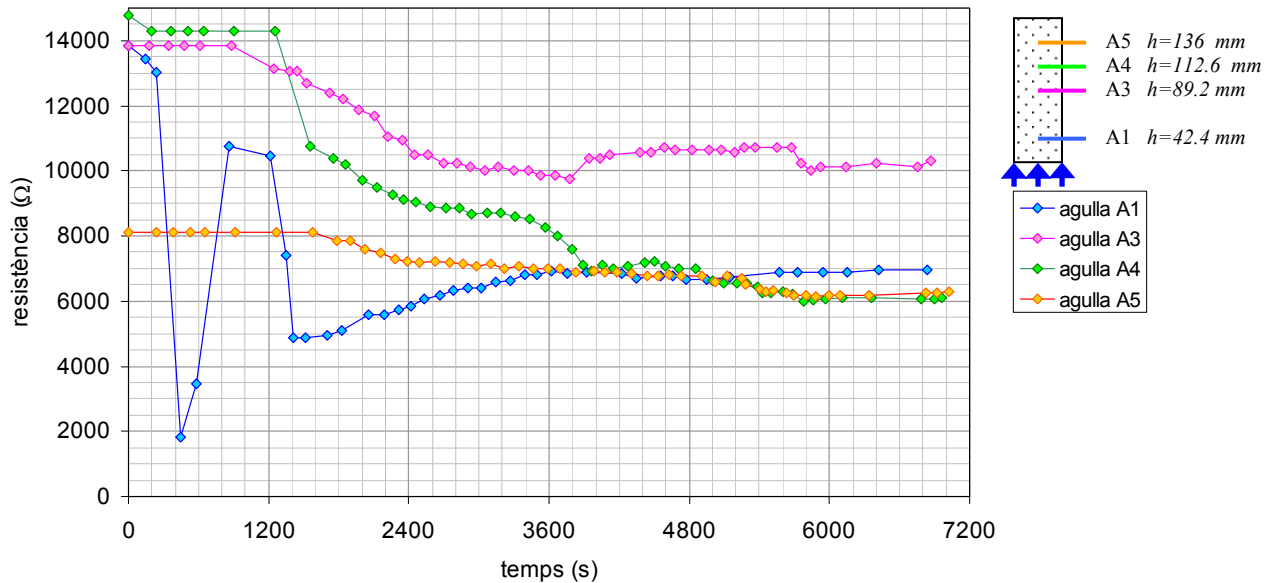
**Figura 6.6.** Perfil de la humitat mesurada un cop finalitzat l'assaig d'infiltració en bentonita. Es pot distingir clarament la zona hidratada i, l'aigua s'infiltra per la base, i es pot veure també la posició dels sensors de pressió laterals en relació a aquesta, que és on es produeixen les tensions d'expansió.

Si s'observa la figura 6.6, que mostra el perfil d'humitat de la columna de bentonita un cop finalitzat l'assaig d'infiltració, es pot veure un important augment de la humitat en la base de la columna de bentonita, que és per on s'infiltra l'aigua. Segons la gràfica, el sensor L-1 es troba dins el tram infiltrat, i el sensor L-2 es troba a una alçada just per sota de la qual comença augmentar la humitat del sòl. De manera que el primer, L-1, enregistra unes tensions superiors a les del sensor L-2 ja que està dins la zona hidratada.

## 6.2. Assaig d'infiltració en sorra amb fins

Els resultats obtinguts en aquest assaig són més coherents i permeten realitzar una interpretació dels resultats una mica més bona. En aquest assaig les sondes s'han mostrat molt sensibles al pas del front d'infiltració, no obstant, els registres obtinguts presenten oscil·lacions importants en el valor de la resistència que fan que a priori no sembli un bon mètode per determinar la humitat amb certa precisió.

En aquest assaig la sonda A2 ja no es va utilitzar per a realitzar mesures, estava tan sols instal·lada en el seu lloc per fer les funcions de tap. A continuació es mostren els resultats obtinguts per a cada una de les quatre sondes emprades. Es pot veure que les sondes detecten clarament l'instant en què el front d'infiltració arriba a l'alçada de la sonda. El registre de la resistència, constant i amb un valor elevat fins aquest instant, pateix una davallada d'acord amb el ràpid augment de la quantitat d'aigua en la zona al voltant de la punta de la sonda. A partir d'aquest punt els registres de totes quatre sondes mostren una tendència decreixent fins que, finalment, les corbes tendeixen a un valor constant mínim que representa la resistència mesurada corresponent a un grau de saturació màxim.



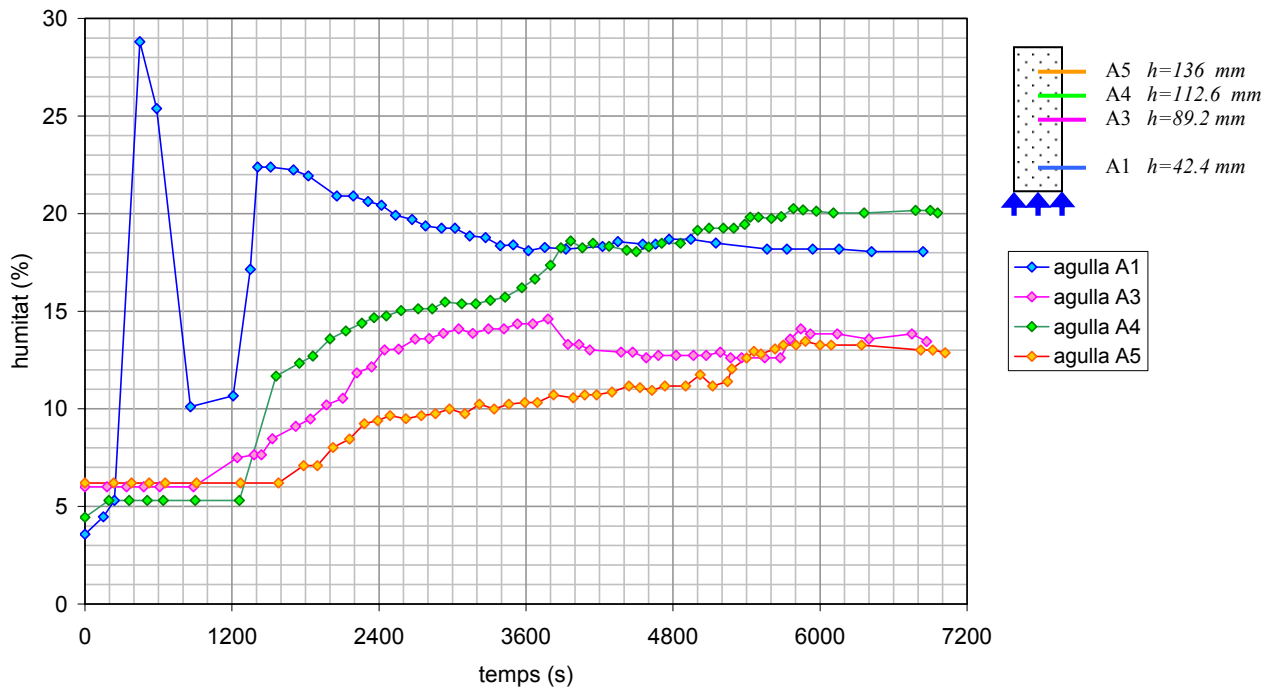
**Figura 6.7.** Resistència mesurada en funció del temps en l'assaig d'infiltració en sorra amb fins. Es pot veure que les sondes, en general, mostren una tendència decreixent d'acord amb l'augment de la humitat en el material.

En la figura 6.7 es pot veure com totes les sondes tret de la A3 tendeixen a uns valors constants finals molt similars. Cada sonda, per això, mostra un rang de variació de la resistència diferent. La sonda A5 és la que el mostra més petit i la A4 és la que mostra un rang de variació major (és per aquesta raó que es va decidir emprar la sonda A4 per a realitzar els assaigs de penetració de la sonda). La sonda A1 mostra inicialment una davallada força gran de la resistència mesurada que es recupera ràpidament. També es pot veure que assoleix el seu valor mínim poc abans dels 30 minuts d'assaig per mostrar després una tendència creixent en el temps.

En general, les sondes són sensibles qualitativament als canvis del grau de saturació del material, es poden identificar els instants d'arribada del front de saturació i de saturació total en les gràfiques, però, com es pot veure en la gràfica 6.8, els valors finals de la humitat no coincideixen per a totes quatre sondes. Les sondes A1 i A4 registren uns valors finals d'humitat de 18% i 20%, respectivament, mentre que les sondes A3 i A5 registren uns

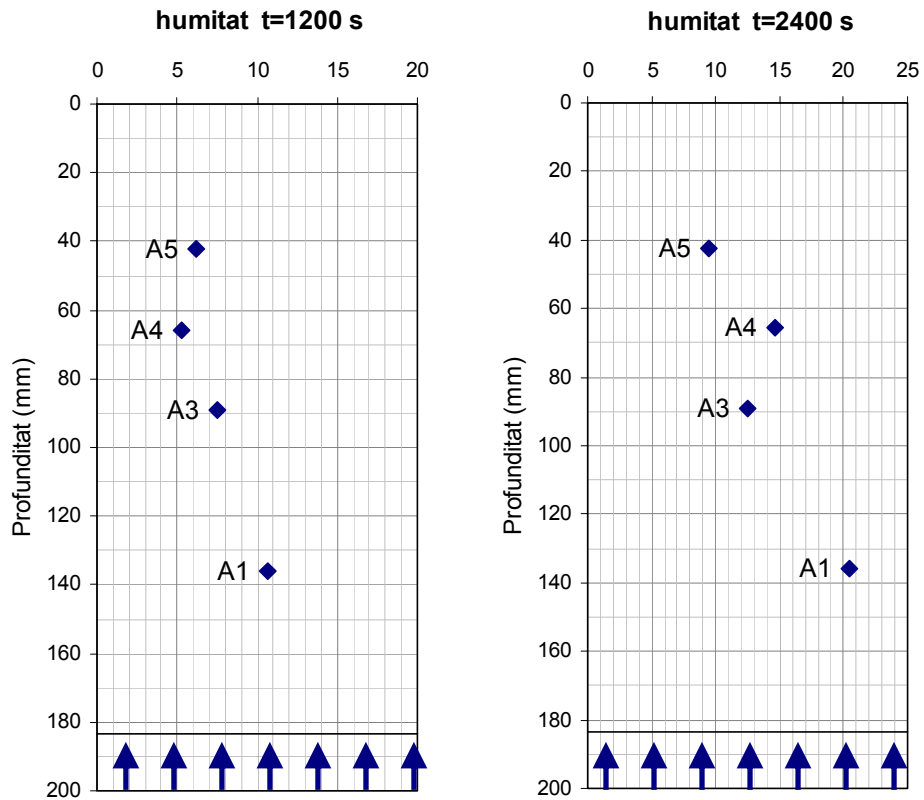


valors de 14% i 13%. Els valors constants inicials, en canvi, si que són força semblants, amb valors compresos entre 5% i 6.2%.



**Figura 6.8.** Registre de la humitat extreta a partir de la resistència mesurada. Es pot veure que els valors de la humitat de saturació i varien segons la sonda que ho mesura mentre que els valors de la humitat inicial són força semblants.

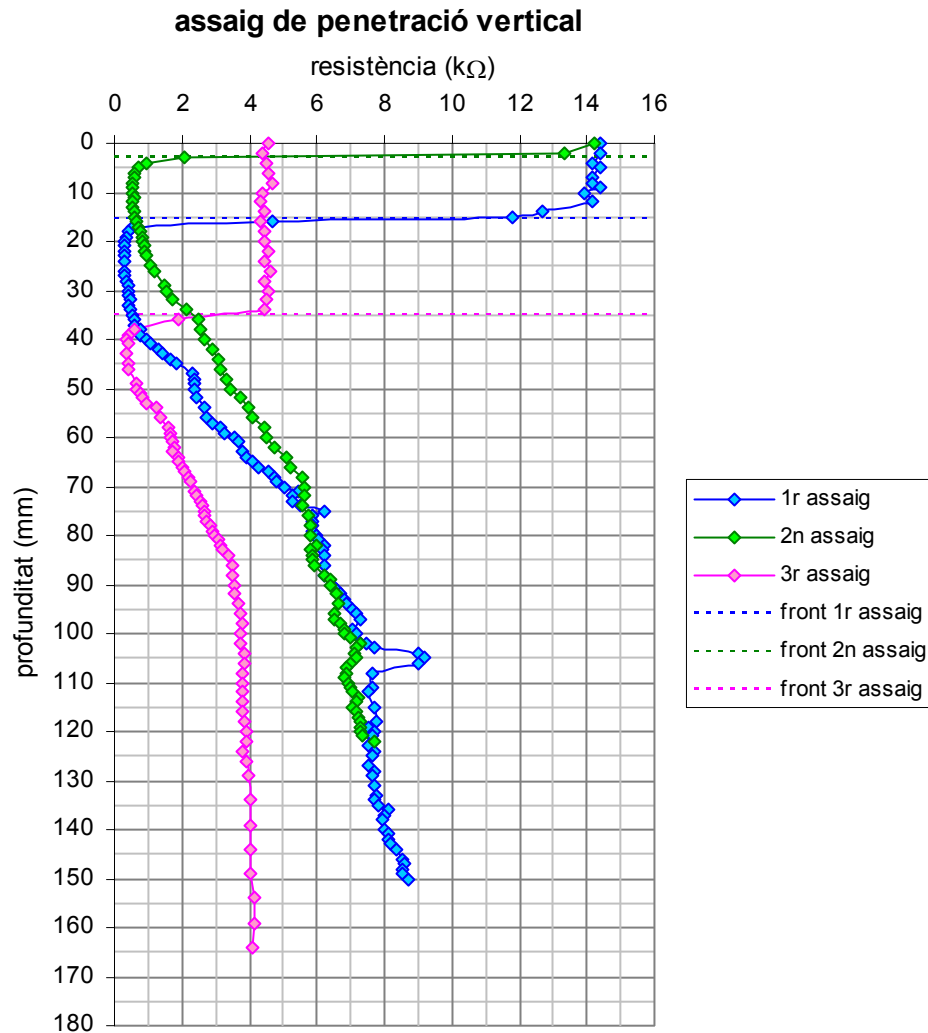
En la figura 6.9 es poden veure dos perfils d’humitat de la columna de sòl en dos instants en que s’està saturant, a  $t=1200$ , instant en què les sondes A1 i A3 han començat a enregistrar un augment d’humitat i les sondes A4 i A5 encara mostren el valor inicial constant, i  $t=2400$  segons, en aquest instant les sondes ja han començat a mostrar una tendència creixent de la humitat. En tots dos perfils es veu una tendència creixent en profunditat de la humitat mesurada, fet esperable tenint en compte que l’aigua s’infiltra per la base de la columna de sòl.



**Figura 6.9.** Perfils de la humitat del sòl mesurada amb les sondes en diferents instants de temps,  $t=1200$  i  $t=2400$  s.

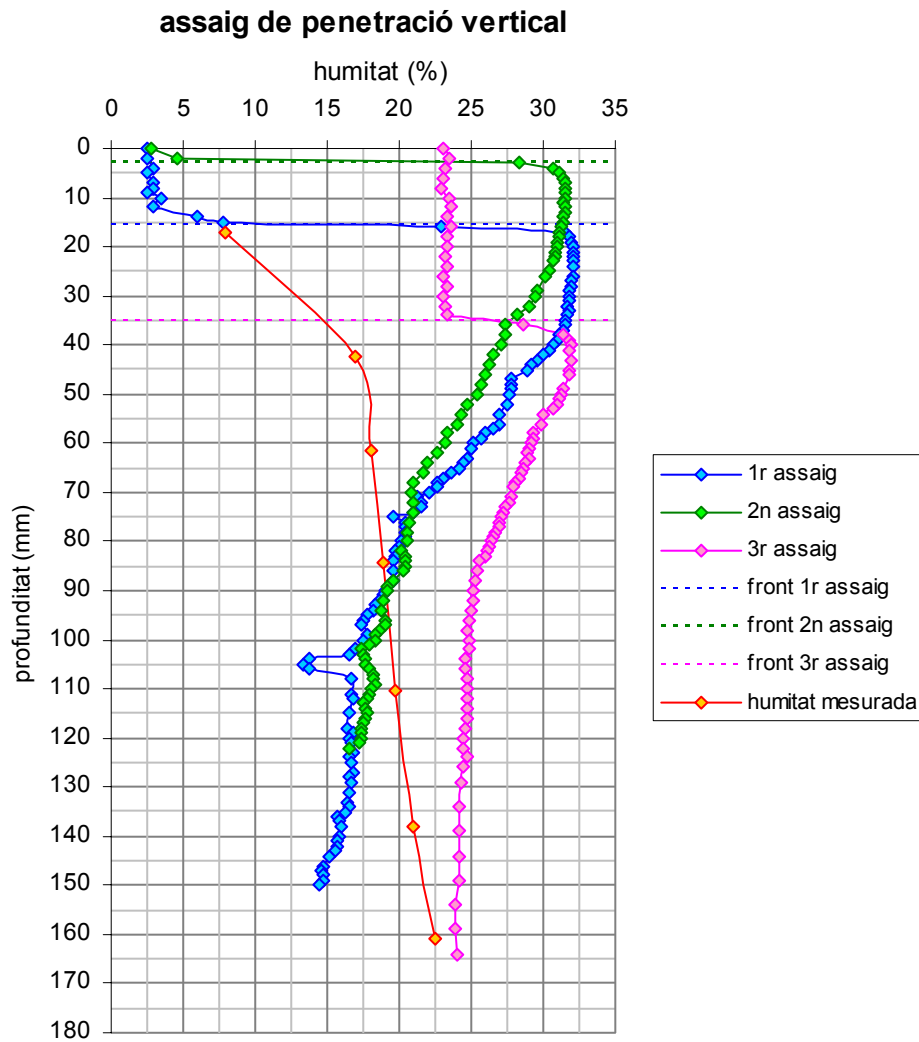
### 6.3. Assaig de penetració vertical de la sonda

Aquest assaig es va repetir tres cops i la corba de la resistència mesurada en funció de l'alçada mostra exactament la mateixa tendència en tots tres assaigs. La diferència és que en el darrer dels assaigs, tot i mostrar un comportament igual al dels anteriors, els valors de la resistència són molt més baixos.



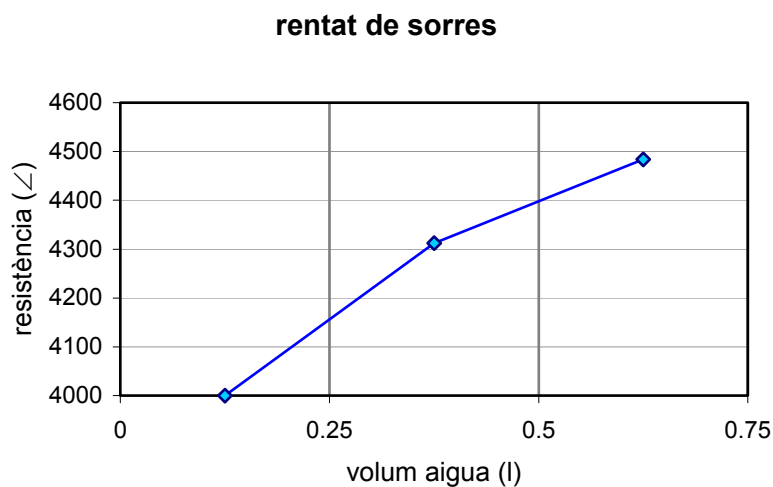
**Figura 6.10.** Resistència mesurada en els diferents assaigs de penetració vertical de la sonda en una mostra de sòl amb un front de saturació estàtic. Les línies discontinuades corresponen a la posició del front de saturació de la mostra en l' instant en què és creuat per cada una de les sondes. La velocitat de penetració de la sonda és de 1 cm/min .

La figura 6.10 mostra les corbes de la resistència mesurada dels tres assaigs realitzats. En el tercer dels assaigs verticals es van agafar mostres de sòl a diferents alçades immediatament després de finalitzar l'assaig i extreure'n la sonda. Es va mesurar la humitat de cada mostra de sòl obtenint així una corba d'humitat real en funció de la profunditat i així poder comparar-la amb les corbes d'humitat extretes a partir de la resistència mesurada.



**Figura 6.11.** Representació dels registres de la humitat extrets a partir de la resistència mesurada en els tres assaigs de penetració vertical realitzats i de la corba de la humitat real mesurada després de finalitzar el tercer assaig.

La figura 6.11 mostra aquestes corbes i en ella es pot veure que els registres de la humitat extrets a partir de la resistència mesurada difereixen totes tres de la corba d'humitat real, que mostra un comportament molt més similar al que es pot esperar, és a dir, un augment sobtat de la humitat just en el front de saturació seguit d'un augment suau que disminueix lleugerament en profunditat fins que la corba assoleix un valor final constant.



**Figura 6.12.** Aquesta gràfica mostra els valors de la resistència mesurada en l'aigua que ha passat a través d'una mostra de sorres de Castelldefels. Es va realitzar una mesura cada 0.25 litres d'aigua. El valor de la resistència mesurada de l'aigua destil·lada pura és de 4513.51 Ω.

En veure les corbes obtingudes en els assaigs es va pensar que aquestes, tot i ser netes, podien contenir una petita quantitat de sals que el front de saturació podria anar rentant i acumular més concentració a la zona pròxima a aquest. Això podria justificar la tendència de les corbes obtingudes en els assaigs. Es va decidir de realitzar un rentat a les sorres de Castelldefels mesurant durant el procés la resistència de l'aigua que les ha rentat. D'aquesta manera es podria associar una disminució de la resistència mesurada en l'aigua que ha rentat les sorres a la presència de sals dissoltes. Es van passar a través d'una mostra de 44.36 grams de sorra 0.25 litres d'aigua destil·lada pura i se'n va mesurar la resistivitat un cop havien rentat les sorres. Aquest procés es va repetir uns quants cops amb la mateixa mostra de sorres. Després del rentat es va veure que l'aigua que havia passat a través de la mostra de sorra mostrava una resistència mesurada menor que la de l'aigua destil·lada pura emprada per rentar. En cada posterior mesura aquesta diferència és menor, cosa raonable si es pensa que cada cop les sorres estan més netes. Però la variació en la resistència mesurada causada per la presència de sals procedents de les sorres dissoltes en l'aigua, de l'ordre de 500 Ω, és molt menor que la variació que mostren les corbes dels assaigs, que mostren variacions de fins a 8 kΩ entre el valor més baix, en el front de saturació, i el valor que assoleix en profunditat.