



ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ  
Facultatea de Silvicultură și Exploatari Forestiere

Ing. Cosmin Ion BRAGĂ

Analiza principalilor factori care influențează fluxul de dioxid de carbon din sol în făgete de deal din sudul Muscelor Argeşului

The analysis of the main factors that influence  
the soil carbon dioxide efflux in beech forests on hills  
from the South of Muscelele Argeşului Region

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Gheorghe SPÂRCHEZ

BRAŞOV, 2018



D-lui (D-nei)

.....

## COMPONENTA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universităţii Transilvania din Braşov  
Nr. 9043 din 9.01.2018

PREŞEDINTE:

**Prof.dr.ing. Alexandru Lucian CURTU**

Decan Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere  
Universitatea Transilvania din Braşov

CONDUCĂTOR ŞTIINŢIFIC:

**Prof.dr.ing. Gheorghe SPÂRCHEZ**

Universitatea Transilvania din Braşov

REFERENŢI:

**Prof.dr.ing. Mircea MIHALACHE**

Universitatea de Ştiinţe Agronomice și Medicină  
Veterinară din Bucureşti

**Cercet. şt. gr. I dr. ing. Lucian Constantin DINCĂ,**  
Institutul Naţional de Cercetare – Dezvoltare în  
Silvicultură “Marin Drăcea” Braşov

**Prof.dr.ing. Dumitru Romulus TÂRZIU,** Universitatea  
Transilvania din Braşov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: 12.02.2018, ora  
11<sup>00</sup>, sala SI2

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi  
transmise electronic, în timp util, pe adresa [cosmin.braga@unitbv.ro](mailto:cosmin.braga@unitbv.ro)

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de  
doctorat.

Vă mulțumim.

## CUPRINS

	Pag. Teză	Pag. Rezumat
<b>PREFAȚĂ.....</b>	1	1
<b>Capitolul I. INTRODUCERE. CONTEXT ȘTIINȚIFIC.....</b>	4	3
<b>Capitolul II. STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTINȚELOR PRIVIND ANALIZA PRINCIPALILOR FACTORI CE INFLUENȚEAZĂ FLUXUL DE DIOXID DE CARBON DIN SOL.....</b>	6	5
2.1. Dioxidul de carbon – principalul gaz cu efect de seră.....	6	5
2.2. Circuitul carbonului într-un ecosistem forestier.....	7	5
2.2.1. Considerații generale.....	7	5
2.2.2. Stocul de carbon din biomasa arborilor.....	7	6
2.2.3. Stocul de carbon din solurile forestiere.....	8	6
2.2.4. Fluxul de dioxid de carbon din solurile forestiere.....	9	6
2.2.4.1. Considerații generale.....	9	6
2.2.4.2. Respirația autotrofă.....	11	7
2.2.4.3. Respirația heterotrofă.....	12	7
2.2.4.4. Principalii factori ce influențează fluxul de dioxid de carbon din sol.....	12	7
2.2.4.5. Metode de determinare a fluxului de dioxid de carbon din sol.....	18	11
<b>Capitolul III. SCOPUL ȘI OBIECTIVE CERCETĂRILOR.....</b>	20	12
3.1. Scopul cercetărilor.....	20	12
3.2. Obiectivele cercetărilor.....	20	12
<b>Capitolul IV. LOCUL CERCETĂRILOR. MATERIALUL ȘI METODA DE LUCRU.....</b>	21	13
4.1. Locul cercetărilor și descrierea cadrului natural.....	21	13
4.2. Culegerea datelor.....	24	14
4.2.1. Identificarea suprafețelor omogene stațional.....	24	14
4.2.2. Amplasarea și materializarea în teren a suprafețelor de probă.....	25	15
4.2.3. Inventarierea arborilor.....	25	15
4.2.4. Recoltarea probelor de litieră.....	26	15
4.2.5. Recoltarea probelor de sol.....	27	16
4.2.6. Măsurarea concentrațiilor de dioxid de carbon din sol.....	27	16
4.2.7. Măsurarea temperaturii și umidității din sol.....	29	17
4.2.8. Măsurarea indicelui suprafeței foliare.....	29	17
4.3. Prelucrarea datelor.....	30	18
4.3.1. Determinarea carbonului din biomasă.....	30	18
4.3.2. Determinarea carbonului din litieră.....	31	18
4.3.3. Determinarea carbonului organic, azotului total și pH-ului din sol.....	31	18
4.3.4. Determinarea fluxului de dioxid de carbon din sol.....	34	20
4.3.5. Alte determinări.....	34	20
4.4. Analiza datelor.....	35	21
4.4.1. Analiza statistică.....	35	21
4.4.2. Analiza geospațială.....	36	21
4.4.3. Criteriul informațional Akaike.....	37	21
<b>Capitolul V. REZULTATE ȘI DISCUȚII.....</b>	38	22
5.1. Considerații generale privind carbonul pe componente determinate.....	38	22

5.2. Estimarea carbonului din biomasa arborilor.....	38	22
5.2.1. Structura spațială a arboretelor.....	38	22
5.2.2. Carbonul suprateran din biomasa arborilor.....	43	23
5.3. Estimarea carbonului din litieră.....	44	24
5.4. Determinarea carbonului organic, azotului total și pH-ului din sol.....	50	27
5.4.1. Stocul de carbon organic din sol.....	50	27
5.4.2. Stocul de azot total din sol.....	55	28
5.4.3. Valorile pH-ului din sol.....	58	28
5.5. Stocul de carbon pe fiecare componentă (biomasă, litieră, sol).....	60	29
5.6. Valorile indicelui suprafeței plantei.....	63	30
5.7. Analiza variabilității sezoniere a factorilor pedoclimatici.....	64	30
5.7.1. Variabilitatea sezonieră a temperaturii din sol.....	64	30
5.7.2. Variabilitatea sezonieră a umidității din sol.....	67	32
5.8. Analiza variabilității sezoniere a fluxului de dioxid de carbon din sol.....	72	33
5.9. Modele de prognoză ale FCO <sub>2</sub> din sol în raport cu factorii pedoclimatici.....	78	36
5.10. Analiza factorilor implicați și contribuția lor asupra FCO <sub>2</sub> din sol.....	89	42
5.10.1. Analiza corelației Pearson.....	89	42
5.10.2. Alegerea modelului optim.....	90	43
5.11. Cantitatea medie anuală de dioxid de carbon emisă din sol.....	92	44
5.12. Analiza influenței principalilor factori asupra FCO <sub>2</sub> din sol.....	96	46
5.12.1. Influența temperaturii și umidității din sol.....	96	46
5.12.2. Influența vegetației forestiere.....	99	47
5.12.3. Influența vârstei arboretelor.....	101	48
5.12.4. Efectul intensității răriturilor.....	103	49
5.13. Variabilitatea spațială a fluxului de dioxid de carbon din sol.....	107	50
5.13.1. Introducere.....	107	50
5.13.2. Analiza variabilității diurne.....	108	51
5.13.3. Numărul de probe necesar pentru evaluarea fluxului de dioxid de carbon din sol.....	108	51
5.13.4. Elaborarea semi-variogramelor.....	110	52
5.13.6. Variabilitatea spațială a temperaturii din sol.....	113	53
5.13.6. Variabilitatea spațială a umidității din sol.....	114	54
5.13.7. Variabilitatea spațială a respirației solului.....	115	55
5.13.8. Analiza factorilor ce influențează variabilitatea spațială a FCO <sub>2</sub> din sol.....	118	57
5.13.8.1. Analiza corelației Pearson.....	118	57
5.13.8.2. Alegerea modelului optim și aplicarea criteriului informațional Akaike.....	119	58
<b>Capitolul VI. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE.</b>		
<b>DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE....</b>	124	60
6.1. Concluzii finale.....	124	60
6.2. Contribuții originale.....	128	63
6.3. Diseminarea rezultatelor.....	128	63
6.4. Direcții următoare de cercetare.....	129	64
<b>BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....</b>	130	65
<b>SCURT REZUMAT.....</b>	140	70
<b>CURRICULUM VITAE.....</b>	141	71

# CONTENTS

	Pag. Thesis	Pag. Abstract
<b>PREFACE</b> .....	1	1
<b>Chapter I. INTRODUCTION</b> .....	4	3
<b>Chapter II. LITERATURE REVIEW ON ANALYSIS OF THE MAIN FACTORS WHICH INFLUENCE THE SOIL CARBON DIOXIDE EFFLUX</b> .....	6	5
2.1. Carbon dioxide – the main greenhouse gas.....	6	5
2.2. Carbon cycle in a forest ecosystem.....	7	5
2.2.1. General context.....	7	5
2.2.2. The carbon stock from tree biomass.....	7	6
2.2.3. The carbon stock from forest soils.....	8	6
2.2.4. The dioxide carbon efflux from forest soils.....	9	6
2.2.4.1. General context of soil respiration.....	9	6
2.2.4.2. Autotrophic respiration.....	11	7
2.2.4.3. Heterotrophic respiration.....	12	7
2.2.4.4. The main factors which influence the carbon dioxide efflux.....	12	7
2.2.4.5. Methods to determinate the soil carbon dioxide efflux.....	18	11
<b>Chapter III. RESEARCH AIM AND OBJECTIVES</b> .....	20	12
3.1. Research aim.....	20	12
3.2. Research objectives.....	20	12
<b>Chapter IV. LOCATION OF RESEARCH. MATERIAL AND METHOD</b> .....	21	13
4.1. Study area and site description.....	21	13
4.2. Data collection.....	24	14
4.2.1. Identification the homogeneous site condition of plots.....	24	14
4.2.2. Installation of samples plots in the field.....	25	15
4.2.3. Tree inventory.....	25	15
4.2.4. Collection of litter samples.....	26	15
4.2.5. Collection of soil samples.....	27	16
4.2.6. Measurements of soil carbon dioxide concentrations.....	27	16
4.2.7. Measurements of soil temperature and soil moisture.....	29	17
4.2.8. Measurements of leaf area index.....	29	17
4.3. Data processing.....	30	17
4.3.1. Biomass carbon.....	30	17
4.3.2. Litter carbon.....	31	18
4.3.3. Organic carbon, total nitrogen and pH of soils.....	31	18
4.3.4. Soil carbon dioxide efflux.....	34	19
4.3.5. Other determinations.....	34	20
4.4. Data analysis.....	35	20
4.4.1. Statistical analysis.....	35	20
4.4.2. Geospatial analysis.....	36	21
4.4.3. Information criterion Akaike.....	37	21
<b>Chapter V. RESULTS AND DISCUSSION</b> .....	38	22
5.1. Carbon by components.....	38	22
5.2. Carbon estimation from tree biomass.....	38	22
5.2.1. Spatial structure of stands.....	38	22
5.2.2. Carbon from aboveground tree biomass.....	43	23

5.3. Carbon estimation from litter .....	44	24
5.4. Organic carbon, total nitrogen and pH of soil.....	50	27
5.4.1. Soil organic carbon stock.....	50	27
5.4.2. Soil total nitrogen stock.....	55	28
5.4.3. Soil pH values.....	58	28
5.5. The carbon stock on components.....	60	29
5.6. Plant area index values.....	63	30
5.7. The analysis on temporal variability of environmental soil factors.....	64	30
5.7.1. Seasonal variability of soil temperature.....	64	30
5.7.2. Seasonal variability of soil moisture.....	67	32
5.8. The analysis on seasonal variability of carbon dioxide efflux.....	72	33
5.9. Testing models on soil respiration in relation with environmental soil factors.....	78	36
5.10. The analysis of factors and which influence soil respiration and their contribution to the process.....	89	42
5.10.1. The Pearson correlation analysis.....	89	42
5.10.2. The selection of best fit model.....	90	43
5.11. The mean annual values of soil respiration.....	92	44
5.12. The analysis influence of the main factors on soil respiration.....	96	46
5.12.1. The influence of soil temperature and soil moisture.....	96	46
5.12.2. The influence of forest vegetation.....	99	47
5.12.3. The influence of stand age.....	101	48
5.12.4. The effect intensity of thinning.....	103	49
5.13. Spatial variability of soil respiration.....	107	50
5.13.1. Introduction.....	107	50
5.13.2. Data analysis of temporal variability.....	108	51
5.13.3. Number of samples necessary to assess soil respiration.....	108	51
5.13.4. Semi-variograms.....	110	52
5.13.6. Spatial variability of soil temperature.....	113	53
5.13.6. Spatial variability of soil moisture.....	114	54
5.13.7. Spatial variability of soil respiration.....	115	55
5.13.8. The analysis of factors which influence the spatial variability of soil respiration...	118	57
5.13.8.1. The Pearson correlation analysis.....	118	57
5.13.8.2. The best fit model and implementation of the Akaike information criterion.....	119	58
<b>Chapter VI. FINAL CONCLUSION. ORIGINAL CONTRIBUTION. DISSEMINATION OF RESULTS. FUTURE RESEARCH NEEDS.....</b>	124	60
6.1. Final conclusions.....	124	61
6.2. Original contribution.....	128	63
6.3. Dissemination of results.....	128	63
6.4. Future research needs.....	129	64
<b>LITERATURE CITED.....</b>	130	65
<b>SHORT SUMMARY.....</b>	140	70
<b>CURRICULUM VITAE.....</b>	141	71

## *PREFAȚĂ*

---

În ultimele decenii, nivelul emisiilor de gaze cu efect de seră (GHG) a cunoscut o creștere, dioxidul de carbon (principalul gaz) contribuind cu aproximativ 60% la încălzirea globală, lucru atribuit activităților antropice ca de exemplu schimbarea folosinței terenurilor, despăduririle, arderile de combustibili fosili și altele. Cu toate acestea, se încearcă să se reducă aceste emisii atât prin stocarea carbonului cât și prin producerea de bioenergie. Factorii ce controlează GHG sunt numeroși, acționând atât unitar cât și combinat într-o manieră complexă. Pentru aceasta, determinarea lor a devenit o prioritate pentru mulți cercetători, prin desfășurarea a numeroaselor programe cu scopul cuantificării și înțelegerii emisiilor gazelor cu efect de seră. Solul contribuie semnificativ cu emisii la CO<sub>2</sub> atmosferic, având un rol substanțial datorită faptului că reprezintă atât o sursă importantă cât o rezervă considerabilă de carbon.

Tema studiului a avut ca reper două proiecte importante desfășurate în cadrul Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură (INCDS) „Marin Drăcea”, primul proiect finanțat de UE FP-7 – „GHG Europe” și al doilea proiect, finanțat de ANCS – PN II-ID 111 – „Forest GHG management”, ce au avut ca obiective principale stabilirea metodologiei de determinare a GHG cât și gestionarea fluxurilor de GHG prin managementul ecosistemelor forestiere.

Desfășurarea cercetărilor și elaborarea lucrării s-au efectuat sub îndrumarea atentă și competentă a domnului prof.dr.ing. Spârchez Gheorghe. Pentru sprijinul acordat încă de la începutul elaborării și până la finalizarea lucrării, îmi exprim și pe această cale cele mai sincere mulțumiri.

Pentru acceptarea calității de referenți oficiali dar și pentru analiza constructivă a conținutului tezei, adresez acestora sincere mulțumiri: domnului prof.dr.ing. Mihalache Mircea și domnului prof.dr.ing. Dumitru Romulus Târziu.

Mulțumiri respectuoase datorez domnului CS I dr.ing. Dincă Lucian – Șeful echipei de Ecologie Forestieră din cadrul INCDS, care m-a ajutat încă de la începutul studiului, prin punerea la dispoziție a aparatului de măsurat fluxul de dioxid de carbon din sol. Totodată, pentru sfaturi competente pe parcursul cercetărilor, țin să-mi exprim întreaga mea recunoștință.

Țin să exprim întreaga mea considerație conducerii INCDS, în special domnului Director Științific CS I dr.ing. Badea Ovidiu, pentru promovarea și susținerea mea în domeniul cercetării forestiere.

Alese mulțumiri sunt adresate și cadrelor didactice de la Facultatea de Silvicultură și Exploatarea forestiere din Brașov, mai ales domnului Decan, prof.dr.ing. Curtu Lucian și domnilor

profesori din comisia de îndrumare pentru sugestiile și aportul substanțial adus: domnului prof.dr.ing. Șofletea Neculae, domnului prof.dr.ing. Păcurar Victor și domnului conf.dr.ing. Stăncioiu Tudor. Cu deosebită considerație, vreau să mulțumesc domnului conf.dr.ing. Petrițan Cătălin, domnului șef lucrări dr.ing. Dutcă Ioan și domnului prof.dr.mat. Păun Marius pentru sfaturi utile în domeniul statistici analitice și geostatisticii. O analiză obiectivă și sugestii utile aduse tezei am primit de la doamna CS II dr.ing Petrițan Any Mary și de la domnul conf.dr.ing Indreica Adrian, cărora le adresez sincere mulțumiri.

Mai înainte sau în timpul elaborării tezei, am avut oportunitatea de a primi sprijinul necondiționat al domnului dr.ing. Bouriaud Olivier, cel care mi-a recomandat atât tema de cercetare cât și posibilitatea participării în două proiecte, dintre care unul internațional. Pe această cale îi adresez sincere mulțumiri și totodată întreaga mea recunoștință. Un rol deosebit de important în elaborarea tezei l-a avut și domnul prof.dr. Curiel Yuste Jorge, căruia îmi exprim un deosebit respect și totodată am certitudinea unei bune colaborări în viitoarele cercetări.

Analiza probelor de sol nu ar fi fost posibil de realizat fără sprijinul laboratoarelor de pedologie de la INCDS, pentru care consider necesar să mulțumesc doamnei dr.bioch. Lucaci Dora și doamnei dr.bioch. Deleanu Elena.

Mulțumesc colegilor mei și personalului tehnico-ingineresc de la INCDS Colectivul de Cercetare și Baza Experimentală Mihăești pentru sprijinul și informațiile utile obținute pe parcursul cercetărilor, în special domnului CS II dr.ing. Guiman Gheorghe, cel care m-a sprijinit permanent, atât prin aportul științific cât și prin cel tehnico-organizatoric necesar realizării studiului.

Nu în ultimul rând, mulțumesc familiei mele pentru acceptarea sacrificiilor determinate de elaborarea acestei teze de doctorat, dar și pentru neconținutele încurajări pe care mi le-au acordat tot timpul.



# Capitolul I

## INTRODUCERE. CONTEXT ȘTIINȚIFIC

---

Pe lângă funcțiile de producție și de protecție, pădurile pot îndeplini și funcțiile de stocare și absorbție a gazelor cu efect de seră, ce constituie o prioritate relativ recentă, prin aderarea României la Protocolul de la Kyoto (1997), care a fost obligată, ca participantă la Convenția Cadru a Națiunilor Unite, să se angajeze în reducerea emisiilor gazelor cu efect de seră (GHG), cele care permit intrarea radiației solare la nivelul suprafeței pământului, dar restrânge fluxul exterior al radiației infraroșii.

Funcțiile de stocare a carbonului și atenuare a GHG au devenit o prioritate la nivel internațional, așa cum arată Cartea Verde, privind „pregătirea pădurilor pentru schimbările climatice”. În acest raport, este recunoscută „capacitatea, încă neajuns de cunoscută a pădurilor europene de a acționa ca rezervoare eficiente de CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> și NO<sub>x</sub>”.

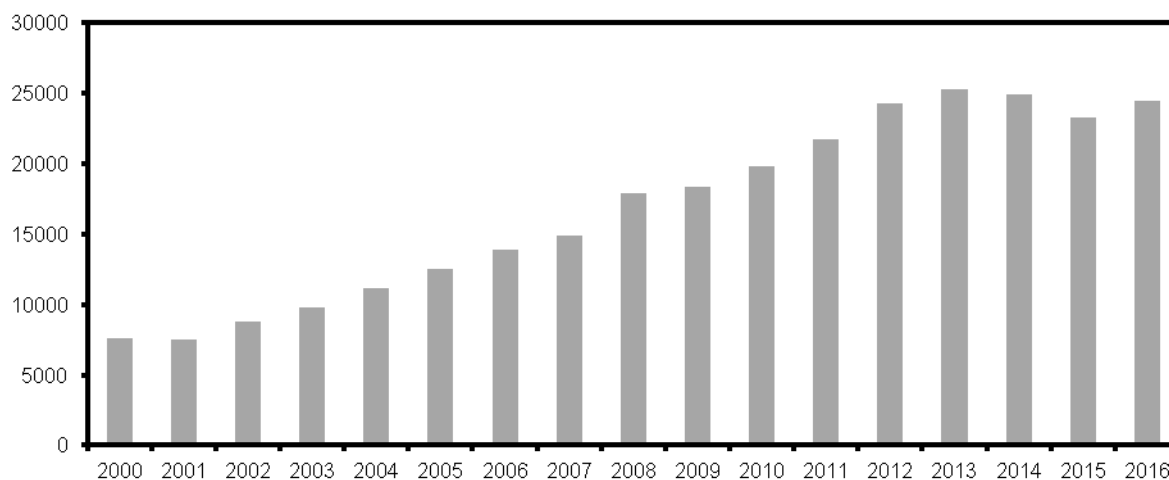
Întrucât reducerea emisiilor GHG nu poate fi atenuată în mod semnificativ și într-o perioadă scurtă de timp, o alternativă sustenabilă o constituie stocarea carbonului. Pentru acest lucru, ecosistemele forestiere pot acționa ca și captatori de carbon.

Obiectivul central de a echilibra emisiile de CO<sub>2</sub> printr-o politică forestieră este de o importanță capitală, însă realizarea sa nu-i ușor de îndeplinit. Pentru realizarea acestui obiectiv, este necesar cunoașterea cu precizie a capacității de captare și stocare a carbonului din cadrul ecosistemelor forestiere. Totodată, cercetările realizate în acest domeniu au demonstrat un caracter dinamic al capacității de reținere și stocare a carbonului, lucru dezbătut în proiecte focalizate pe acest subiect și desfășurate la nivel internațional (<http://www.carboeurope.org/>, <http://www.ghg-europe.eu/>).

Solurile constituie rezervoarele cele mai mari de carbon din cadrul ecosistemelor terestre iar cuantificarea fluxului de dioxid de carbon din sol, ca o componentă importantă în dinamica carbonului, constituie un obiectiv prioritar în atenuarea schimbărilor climatice. Totodată, chiar schimbări minore în ratele fluxurilor din sol pot afecta în mod semnificativ concentrația de CO<sub>2</sub> din atmosferă (Berger *et al*, 2010). Pe lângă acestea, nu este ușor de a cuantifica cu exactitate FCO<sub>2</sub> din sol datorită multitudinilor de factori de natură abiotică și biotică, care afectează acest proces important (Soe și Buchmann, 2005). Fluxul de CO<sub>2</sub> prezintă un rol deosebit în reglarea circuitului C atât la scară regională cât și globală, devenind totodată relevant pentru schimbările climatice, deoarece constituie unul din principalele gaze cu efect de seră (GHG).

Interesul tot mai mare al acestui subiect este confirmat și de numărul lucrărilor științifice în creștere tot mai mult din ultimii ani în acest domeniu de cercetare (**Figura 1.1.**). Pentru a arăta

acest lucru, numărul de referințe a fost obținut prin căutarea, din platforma online Google academic, a cuvintelor cheie „soil respiration” și „soil carbon dioxide efflux”.



**Figura 1.1.** Numărul de referințe publicate despre respirația solului începând din anul 2000.  
*The number of papers published on soil respiration since 2000.*

Datorită necesității de a cuantifica fluxurile de dioxid de carbon din solurilor forestiere, ca obiectiv important în raportările inventarului GHG, dar și ca element de noutate în studiile din România, s-a considerat oportună și totodată provocatoare, necesitatea unei cercetări în acest sens.

Rezultatele obținute pot constitui primii pași în evaluarea emisiilor anuale de dioxid de carbon din solurile forestiere și totodată primele încercări de modelare a datelor de acest tip din țara noastră

## **Capitolul II**

# **STADIUL ACTUAL AL CUNOȘTIȚELOR PRIVIND ANALIZA PRINCIPALILOR FACTORI CE INFLUENȚEAZĂ FCO<sub>2</sub> DIN SOL**

---

### ***2.1. Dioxidul de carbon - principalul gaz cu efect de seră***

Încălzirea globală și schimbările climatice sunt datorate în general acumulării în atmosferă a gazelor cu efect de seră, ce provin în principal de la emisiile antropice și a schimbării folosinței terenurilor (IPCC, 2013). Dioxidul de carbon, cel mai important gaz cu efect de seră, contribuie cu 60% din efectul total al gazelor cu efect de seră (Rastogi *et al.*, 2002), răspunzătoare cu încălzirea globală, iar concentrația atmosferică a acestuia a crescut de la 280 ppm în era preindustrială la 400 ppm în 2013 (Monastersky, 2013, Keidel *et al.* 2015), ceea ce reprezintă cea mai mare creștere înregistrată în ultimii 400.000 de ani (Rastogi *et al.*, 2002, Gebler *et al.*, 2007). O previziune sumbră anunță o creștere a concentrației de CO<sub>2</sub> în anul 2100 între 490-1370 ppm, în funcție de modelele de calcul urmărite (Keidel *et al.*, 2015).

Strategiile de a reduce emisiile de CO<sub>2</sub> reprezintă un subiect internațional intens dezbătut de cercetători dar și de marile corporații. Biosfera absoarbe aproximativ jumătate din emisiile antropice de CO<sub>2</sub>, în timp ce la nivel terestru, rezerva și totodată sursa de carbon este dată de emisfera nordică, acest lucru cunoscându-se prin inventarierea periodică care se fac la nivel național.

### ***2.2. Circuitul carbonului într-un ecosistem forestier***

#### **2.2.1. Considerații generale**

Ecosistemele forestiere au un rol fundamental în circuitul global al carbonului, deoarece pot acționa ca o sursă sau ca un rezervor de stocare al acestuia. Totodată, acestea reprezintă un sistem biologic deschis și ca atare fac atât schimburi de materie cât și de energie cu mediul înconjurător. Astfel, în pădure se produc atât intrări cât și ieșiri de carbon. Intrările de C în ecosistemul forestier au loc prin fotosinteză, iar ieșirile se realizează prin respirație, descompunerea materiei organice, incendii și recoltarea de masă lemnoasă (Nabuurs *et al.*, 2008). Stocul de C total din ecosistem este mare și totodată se află într-un echilibru dinamic cu mediul înconjurător. Deasemenea, cuantificarea C din ecosistemele forestiere implică numeroase componente incluzând C din biomasă și C din sol. Majoritatea ecosistemelor forestiere sunt supuse intervențiilor antropice, doar aproximativ 30% din ele fiind considerate lipsite de intervenția antropică iar gospodărirea pădurilor, prin natura măsurilor silvotehnice, poate influența bilanțul C din ecosistemele forestiere (Mund și Schulze, 2006, Schulze *et al.*, 2010).

### **2.2.2. Stocul de carbon din biomasa arborilor**

Pădurile constituie cel mai important ecosistem terestru în circuitul C și totodată de stocare a acestuia (Schulze *et al.*, 2010, Konopka *et al.*, 2013). Fitobiomasa sau biomasa arborilor, prin definiție reprezintă masa organică a acestora (Koch, 2010), iar stocarea C în biomasa arborilor a devenit o măsură eficientă împotriva schimbărilor climatice (Somogyi *et al.*, 2006). Mai mult de 80% din biomasa supraterană este stocată în ecosistemele forestiere și totodată depășește 70% din carbonul existent în sol (Jandl *et al.*, 2007). Pentru estimarea riguroasă a biomasei forestiere se utilizează diferite metode precum: metoda tehnicilor satelitare și fotogrametrice, metoda inventarului forestier (direct folosind ecuații alometrice pe baza diametrului de bază și a înălțimii totale al arborilor iar indirect utilizând factorii de expansiune biomasică).

### **2.2.3. Stocul de carbon din solurile forestiere**

Carbonul organic din sol reprezintă componenta cheie a ecosistemelor forestiere (Batjes, 1996, Nadelhoffer, 2004). La nivel global, solurile conțin de trei ori mai mult C decât există în atmosfera și de patru ori și jumătate mai mult decât rezerva totală terestră din biosferă (Lajtha *et al.*, 2014), având mai mult decât atmosfera și plantele la un loc (Jobbagy *et al.*, 2000). Solurile forestiere au un rol deosebit de important în circuitul global al C, mai ales că acestea conțin de 1,5 ori mai mult carbon decât cel existent în arbori (Baritz *et al.*, 2010). Totodată, C din sol prezintă interes în ceea ce privește bilanțul gazelor cu efect de seră (Janssens *et al.*, 2003, Baritz *et al.*, 2010), ca factor de atenuare a creșterii emisiilor GHG (Jandl *et al.* 2007).

Cuantificarea exactă a stocului de carbon organic, în timp și spațiu, este destul de greoaie datorită condițiilor locale specifice și a rezultatelor diferite obținute din cercetări, făcând totodată dificilă armonizarea lor, cu scopul realizării modelelor de prognoză (Gruneberg *et al.*, 2014, Dincă *et al.*, 2015). Interesul privind capacitatea solurilor forestiere de a stoca CO<sub>2</sub> atmosferic provenit din arderile combustibililor fosili a crescut datorită amenințării schimbărilor climatice.

### **2.2.4. Fluxul de dioxid de carbon din solul ecosistemelor forestiere**

#### **2.2.4.1. Considerații generale**

Dioxidul de carbon este eliberat din sol printr-un proces variabil și complex, menționat în diferite studii ca respirația solului, mișcarea dioxidului de carbon din sol sau fluxul de dioxid de carbon din sol (Raich și Schlesinger, 1992, Luo și Zhou, 2006). La scară globală, respirația solului este al doilea flux de CO<sub>2</sub> ca mărime, ce are loc între atmosferă și biosfera terestră (Raich *et al.*, 1992, Iuste *et al.*, 2005). Fluxul de dioxid de carbon din sol a fost estimat ca fiind cuprins între 68-80 PgC/an, ceea ce reprezintă aproximativ de 10 ori mai mult decât emisiile de combustibili fosili (5,4 PgC/an) și totodată aproape 10% din rezerva carbonului atmosferic

(Raich și Tufekcioglu, 2000, Ekbländ *et al.*, 2005). Chiar schimbări minore asupra ratei fluxurilor de CO<sub>2</sub> din sol, datorate schimbărilor climatice, pot contribui semnificativ la modificări în compoziția CO<sub>2</sub> din atmosferă (Raich *et al.*, 1992, Ngao *et al.*, 2006).

Fluxul de dioxid de carbon are un rol deosebit de important în reglarea circuitului carbonului atât la scară regională cât și globală, iar ratele fluxurilor pot fi puternic alterate de schimbările climatice (Soe și Buchmann, 2005).

#### **2.2.4.2. Respirația autotrofă**

Respirația autotrofă sau FCO<sub>2</sub> produs de rădăcini și micorize reprezintă o parte semnificativă din respirația solului, fiind puternic reflectată de metabolismul plantelor (Berger *et al.*, 2010). Mai mult de jumătate din FCO<sub>2</sub> din sol este produs de rădăcini și micorize (Ekbländ *et al.*, 2005, Berger *et al.*, 2010) deși, procentual, respirația autotrofă diferă atât interanual cât și intraanual (Epron *et al.*, 2004). Această variabilitate depinde de tipul de vegetație, condițiile climatice dar și de caracteristicile solului. Cantitatea de CO<sub>2</sub> produsă prin respirația rădăcinilor este determinată de biomasa rădăcinilor, dar și de rata de respirație a acestora. Metoda frecvent întâlnită pentru determinarea ratei respirației autotrofe este „*in situ*”, prin compararea situațiilor cu și fără rădăcini, dar această metodă prezintă și neajunsuri întrucât prin perturbarea solului se produce o supraestimare a FCO<sub>2</sub> (Epron *et al.*, 2001).

#### **2.2.4.3. Respirația heterotrofă**

Procesul de descompunere implică oxidarea materiei organice din sol pentru a produce CO<sub>2</sub> și energie. Dioxidul de carbon produs de către organismele din sol pentru obținerea de energie ca urmare a transformării literei și a materiei organice din sol definește respirația heterotrofă. Respirația heterotrofă sau FCO<sub>2</sub> produs de bacterii, fungi și fauna din sol depinde în primul rând de natura populațiilor de descompunători (heterotrofi) și indirect de gradul de intensitate a descompunerii materiei organice (Hanson *et al.*, 2000). Heterotrofii transformă o parte din compușii organici naturali, care ajung în sol pentru a-și procura energia necesară, iar tipul și mărimea populației acestora reprezintă unul din factorii ce influențează procesul de respirație heterotrofă (Elberling *et al.*, 2005).

#### **2.2.4.4. Principalii factori ce influențează fluxul de dioxid de carbon din sol**

##### **A. Temperatura din sol**

Plecând de la premisa că o creștere a temperaturii atmosferice va conduce la o creștere a respirației din sol (Carey *et al.*, 2016), numeroase studii au dezvoltat o serie de relații dintre fluxurile de CO<sub>2</sub> și factorii de mediu, arătând că principalul factor ce influențează variabilitatea respirației solului o constituie temperatura din sol (Lloyd și Taylor, 1994, Epron *et al.*, 1999,

Jassal *et al.*, 2004). Temperatura afectează aproape toate aspectele legate de procesele de respirație. La nivel biochimic și fiziologic, cercetările au demonstrat o creștere a respirației odată cu creșterea temperaturii. Respirația rădăcinilor poate crește cu temperatura, atunci când rata respirației este limitată mai mult de reacțiile biochimice. Temperatura din sol influențează indirect rata FCO<sub>2</sub> din sol prin efectele de creștere a rădăcinilor, întrucât acestea cresc repede la temperaturi ridicate. În plus, răspunsurile respirației rădăcinilor sunt mult mai accentuate la temperatură pentru rădăcinile tinere decât cele bătrâne. Pe de altă parte, solul conține multe grupuri de microorganisme care răspund diferit la creșterea temperaturii din sol (Janssens *et al.*, 2003).

### **B. Umiditatea din sol**

După temperatură, umiditatea din sol reprezintă cel mai important factor ce influențează FCO<sub>2</sub> din sol, atât în timp cât și în spațiu (Cook, 2008) afectând procesul de bioacumulare cu implicații majore asupra circuitului carbonului din sol (Moyano *et al.*, 2012). Umiditatea din sol este deosebit de importantă atât pentru creșterea plantelor, cât și pentru activitatea microbiană, având rol în descompunerea literei și a materiei organice din sol. Variația FCO<sub>2</sub> din sol este mult mai sensibilă la temperaturi mici, în timp ce la temperaturi mai ridicate, este mult mai sensibilă la schimbări ale umidității din sol (Lloyd și Taylor, 1994, Reichstein *et al.*, 2002). Totodată, în mod frecvent, temperatura și umiditatea din sol pot explica cel puțin 60% din variabilitatea sezonieră a FCO<sub>2</sub> din sol (Ekblad *et al.*, 2005). Umiditatea din sol influențează respirația solului direct prin procesele fiziologice ale rădăcinilor și microorganismelor și indirect prin difuzia substratului și a oxigenului (Luo & Zhou, 2006). Un conținut scăzut de apă în sol va constitui un factor inhibitor asupra populațiilor de heterotrofi cât și asupra activității rădăcinilor. Pe de altă parte, un nivel ridicat de apă în sol va reduce porozitatea, ducând la o diminuare a descompunerii materiei organice dar și o limitare a creșterii sistemului radicular (Rey *et al.*, 2002, Saiz *et al.*, 2006).

### **C. Azotul din sol**

Nutrienții din sol, în special disponibilitatea azotului, reprezintă unul din cei mai importanți factori ce contribuie la creșterea productivității primare nete din ecosistemele forestiere. Azotul este elementul nutritiv din sol, folosit majoritar la formarea creșterilor vegetative și în alcătuirea plantelor. Direct, azotul influențează respirația solului pe mai multe căi. Un conținut ridicat de azot în țesuturile plantelor este de obicei asociat cu un conținut ridicat de proteină, deci o rată de creștere mare, ceea ce va conduce la o creștere ridicată a FCO<sub>2</sub> din sol, prin stimularea creșterii rădăcinilor (Zong *et al.*, 2015).

### D. Reacția solului

Reacția solului sau pH-ul din sol are un rol hotărâtor în reglarea disponibilității nutrienților din sol, a structurii și productivității plantelor, cât și a populațiilor de microorganisme din sol (Kemmitt *et al.*, 2006). Astfel, pH-ul influențează descompunerea resturilor organice, humificarea dar și biocenoza solului. De exemplu, bacteriile se dezvoltă în condiții favorabile la un pH cuprins între 6 și 8 iar ciupercile între 4 și 5 (Târziu, 2006). Totodată, pH-ul solului reglează reacțiile chimice de multiplicare a enzimelor din microorganisme, având un efect asupra creșterii și prolificității microbilor din sol, la fel și indirect asupra respirației solului (Rastogi *et al.*, 2002).

### E. Factorii biotici

Chiar la distanțe mici, în condiții staționale omogene, pot exista diferențe majore în ceea ce privește estimarea FCO<sub>2</sub> anual din sol (Bahn *et al.*, 2010, Curiel Yuste *et al.*, 2004). Factorii biotici reprezentați cu precădere de caracteristicile structurale ale arboretului sunt cei care explică mai bine variabilitatea spațială a FCO<sub>2</sub> din sol (Soe și Buchmann, 2005). Atât tipul de vegetație cât și caracteristicile arboretului reprezintă factori biotici importanți ce influențează ratele fluxurilor de CO<sub>2</sub> din sol (Raich și Tufekcioglu 2000, Barba et al 2013, Ma *et al.*, 2014).

#### a. Tipul de vegetație

Alături de variabilele climatice, vegetația poate influența circuitul carbonului, atât prin procesul de fotosinteză, cât și prin producția sub și supraterană de biomasă și litieră (Raich și Schlesinger, 1992). De cele mai multe ori, vegetația afectează FCO<sub>2</sub> din sol, prin influența asupra microclimatului dar și prin modificări aduse producției de detris din sol (Raich și Tufekcioglu, 2000). Astfel, vegetația controlează cantitatea și calitatea materiei organice din sol, ceea ce parțial va determina ratele de descompunere și producția de CO<sub>2</sub> din sol (Atkins *et al.*, 2015). În condiții similare, ratele FCO<sub>2</sub> din sol sunt mai mari în pășuni decât în păduri, în medie cu 20% (Raich și Tufekcioglu, 2000), ceea ce se poate afirma că, conversia pădurii în pășuni va duce la o creștere a emisiilor de dioxid de carbon din sol.

#### b. Vârsta arboretului

Fluxul de CO<sub>2</sub> din sol este influențat atât de cumulul de rădăcini vii existente cât și de cantitatea și calitatea stocului de C din sol, ceea ce se poate spune că sursa majoritară de CO<sub>2</sub> din sol poate fi datorată structurii și vârstei pădurii (Klopatek, 2002). Influența vârstei arborelor asupra emisiilor de CO<sub>2</sub> din sol a fost prezentat în mai multe studii, însă cu rezultate contradictorii, ce au mărit gradul de incertitudine existent. Se estimează că un sistem radicular mai bogat la un arboret mai în vârstă va contribui la un FCO<sub>2</sub> din sol mai ridicat comparativ cu

un arboret mai tânăr (Klopatek, 2002). Contrar acestor afirmații, Saiz *et al.* (2006) au găsit o rata mai mare a descompunerii materiei organice și o activitate mai intensă a rădăcinilor, deci un FCO<sub>2</sub> mai ridicat în arborete mai tinere decât în cele bătrâne. Totodată, variabilitatea sezonieră a FCO<sub>2</sub> din sol este influențată de conținutul de apă din sol, pentru care la un arboret tânăr efectul scăderii intensității activității sistemului radicular, datorat unui regim net inferior, va contribui la rate ale FCO<sub>2</sub> din sol mai mici, comparativ cu un arboret bătrân, al cărui sistem radicular este mai sensibil la stresul hidric la adâncimi mai mari în sol (Irwine și Law, 2002).

### **c. Tipul și intensitatea lucrărilor silvotehnice**

Extragerea de masă lemnoasă din pădure schimbă regimul factorilor climatici din sol, în special temperatura și umiditatea, dar și activitatea rădăcinilor cu impact important asupra stocului de carbon din sol (Olajuyigbe *et al.*, 2012). La scară mică, dinamica FCO<sub>2</sub> poate fi determinată de măsurile de gospodărire, caracterizate în principal de operațiunile culturale și tratamentele silvice, ce pot avea implicații substanțiale asupra intrărilor și ieșirilor de carbon în atmosferă (Peng *et al.*, 2008). Aplicarea lucrărilor silvotehnice cu un caracter intensiv poate să afecteze atât orizontul organic cât și cel mineral, iar practicile silvice cu un caracter moderat afectează majoritar doar orizontul organic, acest lucru având un impact major asupra stocurilor și a emisiilor de carbon din sol (Mund *et al.*, 2006).

### **d. Indicele suprafeței foliare**

Indicele suprafeței foliare (eng. *Leaf Area Index*, LAI) este unul din indicatorii frecvent utilizați pentru analiza ecosistemelor forestiere (Thimonier *et al.*, 2010). Acesta este definit ca fiind raportul dintre suprafața totală a frunzelor pe unitatea de suprafață a solului (Bouriaud *et al.*, 2003). Indicele suprafeței foliare este un important evaluator al modului cum plantele și ecosistemele forestiere răspund la creșterea concentrației de CO<sub>2</sub> din atmosferă (Norby *et al.*, 2003). Estimarea LAI este importantă pentru analiza unor procese biogeochimice precum evapotranspirația, retenția precipitațiilor, depunerile uscate, dar și a FCO<sub>2</sub> din sol (Chanson *et al.* 1991, Asner *et al.*, 2003, Teodosiu și Guiman, 2010). Estimarea LAI este destul de dificil de determinat datorită faptului că acesta variază în raport cu specia, condițiile staționale, timpul din an, condițiile meteorologice (Breda *et al.*, 2003). Cercetări efectuate pe un interval de timp lung și la scară mare, au arătat că variabilitatea temporală și spațială a FCO<sub>2</sub> poate fi corelată cu variabilitatea LAI (Reichstein *et al.*, 2003).



### 2.2.4.5. Metode de determinare a FCO<sub>2</sub> din sol

Determinarea precisă a FCO<sub>2</sub> din sol este deosebit de importantă pentru evaluarea dinamicii carbonului, însă este foarte dificil de obținut (Janssens *et al.*, 2000), chiar dacă primele încercări privind cuantificarea FCO<sub>2</sub> din sol au fost efectuate cu mai bine de nouă decenii în urmă, inițiatorul primei metode de determinare fiind cercetătorul suedez Henrik Lundegardh (1922). Ulterior, metodele de determinare au fost permanent îmbunătățite iar în prezent nici o metodă nu este folosită drept etalon, datorită dificultăților întâlnite în cuantificarea modificărilor permanente a proceselor biochimice și fizice din sol, care afectează producția de CO<sub>2</sub>. Pentru a face față provocărilor legate de măsurarea FCO<sub>2</sub> din sol s-au dezvoltat și utilizat o serie de metode, ce sunt diferite după precizia adoptată și fiabilitatea echipamentelor utilizate.

După sistemul de cameră de respirație folosit s-a realizat clasificarea metodelor de determinare a FCO<sub>2</sub> din sol, astfel:

**A.** Sistemul de camere închise, prin care FCO<sub>2</sub> din sol este determinat datorită creșterii concentrației din interior într-o perioadă de timp cunoscută. Dacă în interiorul camerei există o circulație a aerului, metoda este considerată dinamică, iar dacă nu există o circulație a aerului metoda este considerată statică;

**B.** Sistemul de camere deschise, prin care fluxul este determinat ca diferență a concentrației de CO<sub>2</sub> de la intrarea și ieșirea din cameră;

Pe lângă aceste sisteme de măsurare, se folosește metoda „eddy covariance”, ce măsoară fluxul vertical al CO<sub>2</sub>, cu rezultate satisfăcătoare în estimarea respirației ecosistemelor (Pumpanen *et al.*, 2004). Gradientul de concentrație, altă metodă de determinare, ia în considerare diferențele de CO<sub>2</sub> din sol și atmosferă, cât și între orizonturile de sol existente la un moment dat. Totodată, este dificil de a converti gradientul de concentrație al CO<sub>2</sub> în flux, întrucât difuziunea este eterogenă și se schimbă o dată cu umiditatea din sol. Așadar, metoda folosită pentru determinarea FCO<sub>2</sub> din sol trebuie aleasă în funcție de tipul de cercetare urmărit și de ecosistemul analizat. De asemenea, tipul de metodă depinde de scara de măsurare în timp și spațiu. Astfel, pentru măsurători pe termen lung este necesară asigurarea unui nivel scăzut de perturbare a solului, la care metoda „eddy covariance” are cel mai bun rezultat, urmată de metoda gradientului de concentrație. Sistemul de camere dinamic-deschise asigură o determinare precisă la nivel temporal, în timp ce sistemul de camere dinamic-închise asigură o precizie mai bună la nivel spațial (Pumpanen *et al.*, 2004).

## **Capitolul III**

# **SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRILOR**

---

### ***3.1 Scopul cercetărilor***

Întrucât fluxul de dioxid de carbon din sol prezintă un interes crescut în actualele cercetări la nivel internațional și totodată are un rol hotărâtor în bilanțul carbonului, estimarea lui constituie parte din raportările obligatorii ale inventarului gazelor cu efect de seră, responsabile în declanșarea schimbărilor de natură climatică.

Scopul cercetărilor, localizate în fâgete de deal din sudul Muscelor Argeșului, constă în analiza principalilor factori de natură abiotică și biotică, ce influențează variabilitatea spațio-temporală a emisiilor de dioxid de carbon din solurile forestiere

### ***3.2. Obiectivele cercetărilor***

În vederea îndeplinirii scopului propus, s-au stabilit următoarele obiective:

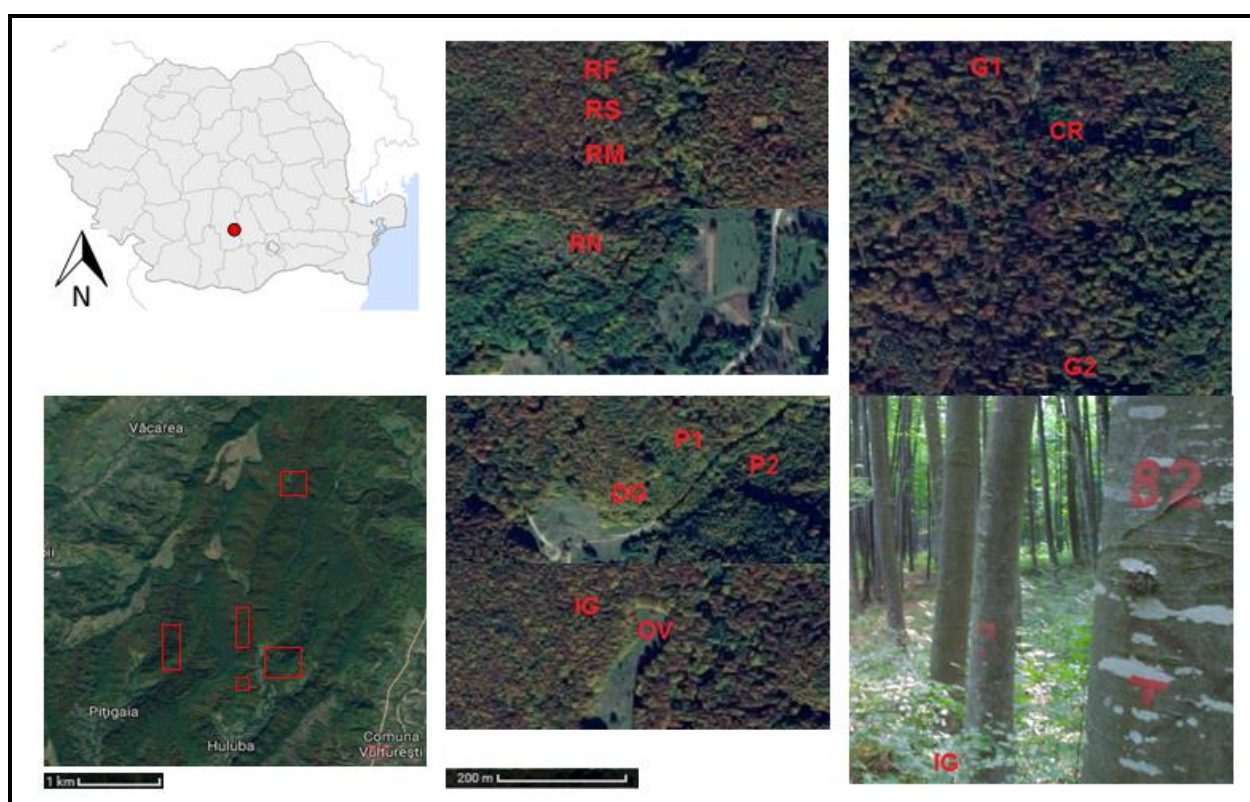
1. Determinarea carbonului (din biomasă, litieră și sol), azotului și pH-ului din sol;
2. Analiza variabilității sezoniere a factorilor pedoclimatici;
3. Analiza variabilității temporale a fluxului de dioxid de carbon și determinarea emisiilor anuale de carbon din sol;
4. Analiza variabilității spațiale a fluxului de dioxid de carbon din sol;
5. Stabilirea și cuantificarea influenței principalilor factori abiotici și biotici asupra fluxului de dioxid de carbon din sol.

## Capitolul IV LOCUL CERCETĂRILOR MATERIALUL ȘI METODA DE LUCRU

### 4.1. Locul cercetărilor și descrierea cadrului natural

Cercetările efectuate au fost localizate în arborete de fag cu vârste și structuri diferite aflate în administrarea Institutului Național de Cercetare – Dezvoltare în Silvicultură “Marin Drăcea”, prin *Baza Experimentală Mihăești*, de pe raza județului Argeș ( $45^{\circ}6'8''\text{N}$ ,  $25^{\circ}0'39''\text{E}$ ).

Suprafețele de probă fac parte din suprafața experimentală S.E. I Râul Târgului și unitatea de producție U.P. XI Huluba, care se găsesc pe raza comunei Stâlpeni (sat Pițigaia) și a comunei Vulturești (sat Huluba).



**Figura 4.1.1.** Locul cercetărilor  
*The research site location*

Geografic, suprafețele fac parte din unitatea Subcarpaților Getici, subunitatea Muscelele Argeșului, din bazinul hidrografic al Râului Târgului. Substratul litologic al zonei experimentale este constituit din nisipuri și pietrișuri, gresii, marne și depozite loessoide așa – numitele „pietrișuri de Cândești”. Unitatea geomorfologică predominantă este versantul, majoritari fiind versanții cu înclinări moderate ( $16-30^{\circ}$ ). Expoziția predominantă a suprafețelor este cea parțial însorită. Climatul caracteristic este cel al dealurilor mijlocii și înalte. Regimul termic este caracterizat printr-o temperatură medie anuală de  $8,1^{\circ}\text{C}$ . Totodată, regimul pluviometric prezintă

următoarele caracteristici: precipitații medii anuale: 730 mm. Vânturile cele mai importante, atât ca frecvență cât și ca intensitate sunt cele care bat din sectorul nordic.

Solul prezent în suprafețele analizate, conform clasificărilor SRTS2003, face parte din clasa cambisoluri, tipul eutricambosol tipic. Din punct de vedere fitoclimatic, pădurile sunt situate în etajul de vegetație: *FD3 - etajul deluros de gorunete, făgete și goruneto - făgete*.

## 4.2. Culegerea datelor

### 4.2.1. Identificarea suprafețelor omogene stațional

Pentru amplasarea suprafețelor de probă s-a realizat în prealabil o documentare cu privire la existența, descrierea și distribuția arboretelor de fag din cadrul Bazei Experimentale Mihăești. Din datele amenajamentelor silvice ale Bazei Experimentale Mihăești (ediția 2014), coroborate cu observațiile efectuate în teren s-au ales 12 suprafețe de probă, ce fac parte din arborete care se încadrează în etajul fitoclimatic *Deluros de gorunete, făgete și goruneto-făgete (FD3)*, în tipul de stațiune: *Deluros de făgete, eutricambosol edafic mare, cu Asperula - Asarum (5243)*, pentru tipul de pădure *Făget de deal cu floră de mull (4211)* și tipul de sol, *eutricambosol tipic (3101)*. În **tabelul nr. 4.2.1.1.** sunt furnizate câteva detalii legate de caracteristicile generale ale arboretelor alese pentru amplasarea suprafețelor de probă.

**Tabelul 4.2.1.1.** Caracteristicile generale ale suprafețelor de probă  
*The general characteristics of the plots*

SP*	U.P.	u.a	S u.a. (ha)	S SP (m <sup>2</sup> )	Expo- zitie	Panta ( <sup>o</sup> )	Altitudinea (m)	Compoziția	Consis- tența	Vârsta (ani)	Lucrări executate
OV	XI	26V	1.2	500	-	5	530	-	-	-	-
RN	XI	20A	13.2	500	S	25	500	8FA2GO	0,9	5	îngrijirea culturii
DG	XI	35 E	1.3	500	SE	20	510	7FA 2DT 1DM	1,0	15	degajări
CR	I	212F	0.6	500	V	15	550	7FA3DT	0,9	25	curățiri
RS	XI	23A	18.5	1950	E	25	510	9FA1GO	0,8	70	răritură martor
RM	XI	23A	18.5	1950	E	25	510	9FA1GO	0,8	70	răritură moderată
RF	XI	23A	18.5	1950	E	25	510	9FA1GO	0,8	70	răritură forte
IG	XI	26A	23.9	1950	E	15	540	8FA1CA1DM	0,9	85	igienă
P1	XI	35C	14.4	1950	SE	18	520	8FA2GO	0,8	130	pr. desch. och. <sup>2</sup>
P2	XI	38A	13.5	1950	V	17	530	9FA1GO	0,7	150	pr. lărgire a och. <sup>3</sup>
G1 <sup>1</sup>	I	206	29.2	1950	SE	20	560	10FA	0,7	170	tr. spre grădinărit <sup>4</sup>
G2 <sup>1</sup>	I	213A	15.5	1950	NV	15	540	10FA	0,7	180	tr. spre grădinărit

<sup>1</sup> G1 și G2 sunt arborete caracterizate prin același tip de lucrări silvotehnice, numerotarea lor efectuându-se doar pentru a diferenția ca număr SP

<sup>2</sup>Tratamentul tăierilor progresive, prima intervenție – tăieri de deschidere a ochiurilor

<sup>3</sup>Tratamentul tăierilor progresive (regenerărilor progresive), a doua intervenție – tăieri de lărgire a ochiurilor

<sup>4</sup>Tratamentul codrului grădinărit – tăieri de transformare spre grădinărit

\*Fiecare suprafață de probă a primit câte un indicativ (cod) cât mai sugestiv pentru a ne familiariza mai bine cu anumite caracteristici ale arboretelor, ce sunt caracterizate prin vârsta și tipul de lucrare efectuată.

#### 4.2.2. Amplasarea și materializarea în teren a suprafețelor de probă

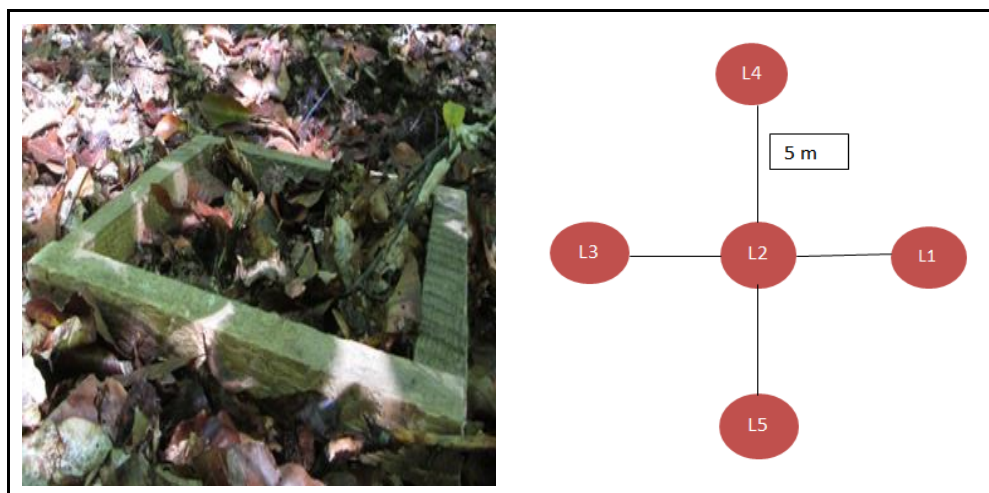
În vederea îndeplinirii obiectivelor stabilite, amplasarea în teren a suprafețelor de probă s-a realizat ținând cont de o serie de factori precum condițiile staționale, configurația terenului și accesibilitate. Cele 12 suprafețe de probă alese s-au materializat în teren cu vopsea roșie, suprafața analizată de tip circular (acolo unde au fost inventariați arbori), fiind de 1962 m<sup>2</sup> (raza de 25 m), considerându-se optimă pentru măsurători de litieră, biomasă și fluxuri de CO<sub>2</sub> (Baeten *et al.*, 2013). Pentru suprafețele de probă (DG și CR) cu vârsta de 15 și 25 de ani, datorită desimii foarte mari a arborilor la hectar, s-a folosit pentru inventarierea arborilor suprafețe circulare mai mici (200 m<sup>2</sup> și 500 m<sup>2</sup>). Pentru două dintre suprafețele de probă (arboret de 5 ani - RN și teren destinat pentru hrana vânatului - OV) s-au efectuat doar măsurători ale FCO<sub>2</sub> și s-au prelevat probe de sol pentru determinarea conținutului de carbon, azot și pH-ul.

#### 4.2.3. Inventarierea arborilor

În vederea analizei corelațiilor între carbonul din biomasa arborilor și FCO<sub>2</sub> din sol, se impune determinarea caracteristicilor auxologice din suprafețele de probă. Lucrările de teren au constat în numerotarea și inventarierea arborilor din suprafețele de probă analizate. Pentru fiecare arbore inventariat (diametrul minim de 4 cm pentru SP de 1962 m<sup>2</sup> și 2 cm pentru SP de 200 m<sup>2</sup> și 500 m<sup>2</sup>) s-a determinat specia, poziția arborelui față de centrul suprafeței și s-a măsurat diametrul de bază și înălțimea totală.

#### 4.2.4. Recoltarea probelor de litieră

Colectarea din teren a probelor din orizontul de litieră a fost realizată conform metodologiei din literatura de specialitate.



**Figura 4.2.4.1.** Dispozitivul și schema de recoltare a probelor de litieră  
*The scheme for litter sampling*

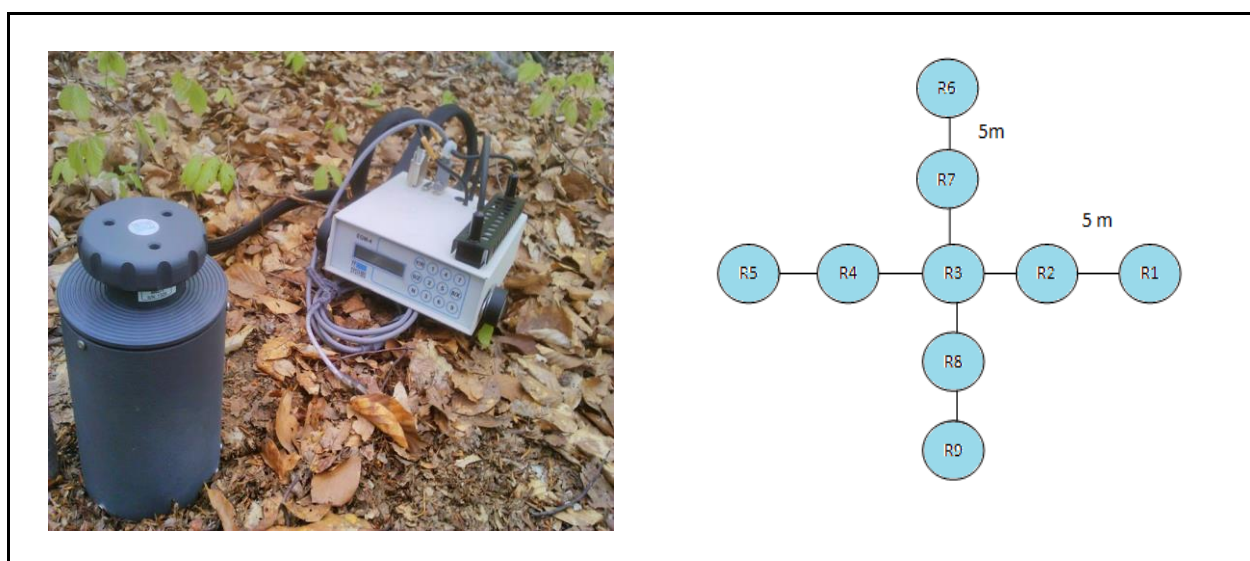
S-a considerat necesar ca, pentru fiecare suprafață de probă să se recolteze câte cinci probe din orizontul de litieră, din interiorul unui cadru din lemn de formă pătratică cu latura de 20 cm (**figura 4.2.4.1**). Totodată, au fost îndepărtate resturile minerale și pietrele, pe măsură ce s-a colectat materia organică din interiorul cadrului, fiind folosit pentru această operațiune un cuțit cu lamă metalică. Probele de litieră constând din frunze uscate, fructe, lemn mort (cel cu diametrul mai mic de 1 cm) au fost puse individual din teren în pungi din plastic etichetate.

#### 4.2.5. Recoltarea probelor de sol

Conform metodologie în vigoare, pentru fiecare suprafața de probă, din apropierea centrului acesteia, s-a realizat câte un profil de sol, care s-a săpat cu ajutorul unei cazmale, iar cu un șpaclu cu lamă metalică s-au prelevat probe de sol. Probele, câte patru la număr pentru fiecare profil de sol, s-au recoltat de la adâncimile de 0-10 cm, 11-20 cm, 21-40 cm și 41-80 cm, cantitatea de sol prelevată pentru fiecare orizont geometric, fiind de circa 1 kg. Pungile din polietilenă cu probele de sol din teren au fost etichetate (numărul SP, data și orizontul geometric) și trimise în laborator pentru determinări de carbon organic, azot total și pH.

#### 4.2.6. Măsurarea concentrațiilor de dioxid de carbon din sol

Metoda folosită pentru determinarea concentrațiilor și implicit a respirației din sol folosește tehnica camerelor dinamic închise conform Pumpanen *et al.*, (2004), prin care  $FCO_2$  din sol este calculat ca rata de creștere din interiorul camerei în unitatea de timp (PP Systems, 2012). Determinările fluxurilor de  $CO_2$  s-au realizat cu ajutorul unui analizor portabil de gaz ce folosește tehnologia cu infraroșu (IRGA EGM-4, PP Systems, SUA), la care este conectată o cameră de respirație standard de volum cunoscut, de  $1171 \text{ cm}^3$  și o suprafață de acoperire (asimilație) de  $78 \text{ cm}^2$  (SRC 1, PP Systems, USA).



**Figura 4.2.6.1.** Analizorul EGM 4 (camera de respirație SRC 1) și schema de măsurare a concentrațiilor de  $CO_2$   
 The EGM-4 analyzer (chamber respiration SRC 1) and the sampling scheme for measuring the  $CO_2$  concentration

Fluxul de dioxid de carbon din sol a fost măsurat în 16 perioade scurte din an, fiecare având o durată de circa 3-4 zile. Măsurătorile au avut loc bilunar, în perioada aprilie – octombrie, iar pentru luna noiembrie și decembrie s-a măsurat o singură dată pe lună. Pentru fiecare suprafață de probă s-au efectuat nouă determinări, situate după un grid regulat (două transecte de 20 m lungime dispuse perpendicular). Între fiecare poziție de măsurare a  $FCO_2$  din sol a existat o distanță regulată, de 5 metri. (**figura 4.2.6.1**).

#### **4.2.7. Măsurarea temperaturii și umidității din sol**

Parametrii pedoclimatici au fost determinați folosind un termometru digital cu tijă (CEM DT 131), pentru determinarea temperaturii din sol la adâncimea de 10 cm și un umidometru digital de sol ce folosește tehnica domeniului reflectometriei (TDR 300, Sensotech) pentru determinarea umidității volumetrice din sol la adâncimea de 20 cm. Pentru analiza variabilității spațiale a  $FCO_2$ , măsurători efectuate în anii 2016-2017, temperatura din sol a fost determinată folosind un senzor de temperatură STP 1 (PP Systems) cu înregistrare continuă, atașat analizorului de gaze EGM-4. Atât temperatura cât și umiditatea din sol au fost măsurate în același timp cu determinarea măsurătorilor de  $FCO_2$ , în imediata vecinătate a camerei de respirație.

#### **4.2.8. Măsurarea indicelui suprafeței plantei**

Valoarea indicelui suprafeței plantei (PAI) reprezintă suma dintre indicii suprafeței tulpinilor și a ramurilor trunchiului arborelui (WAI) și indicii suprafeței foliare (LAI). Indicii suprafeței tulpinilor și a ramurilor trunchiului arborelui a fost determinat în perioada de repaus vegetativ (luna martie) iar indicii suprafeței foliare a fost determinat în sezonul estival de maximă dezvoltare a coronamentului (luna iulie). Procedeu de determinare folosit a fost metoda indirectă prin utilizarea sistemului de cameră digitală Nikon, echipată cu o lentilă de tip, „*ochi de pește*”, cu o deschidere angulară de 180 grade. Fotografiiile au fost făcute pentru fiecare suprafață de probă, respectiv după schema de măsurare a concentrațiilor de  $CO_2$ . Prelucrarea imaginilor a fost realizată folosind programul WinScanopy versiunea 2006aPro (Regents Instruments Inc., Sainte-Foy, Quebec).

### 4.3. Prelucrarea datelor

#### 4.3.1. Determinarea carbonului din biomasă

Pentru cuantificarea carbonului este necesară determinarea biomasei arborilor din suprafețele de probă. Pentru acest lucru, s-a determinat numărul de arbori, suprafața de bază și volumul arborilor. Pentru determinarea volumului arborilor s-a folosit ecuația de regresie dublu logaritmică propusă de Giurgiu *et al.* (2004):

$$\log V = a_0 + a_1 \times \log d + a_2 \times \log^2 d + a_3 \times \log h + a_4 \times \log^2 h$$

în care: V – volum unui arbore (m<sup>3</sup>); d – diametrul de bază a arborelui (cm); h – înălțimea arborelui (m); a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub> – coeficienții din ecuația de regresie corespunzători fiecărei specii.

În vederea trecerii de la volum (m<sup>3</sup>), al arborilor pe picior în stare verde, la masă (t), s-au folosit valorile medii a masei volumice convenționale (infradensitate) pentru toate speciile întâlnite în urma inventarierilor efectuate în suprafețele de probă. Biomasa arborelui a rezultat ca produsul dintre volumul unitar al arborelui și masa volumică convențională specifică fiecărei specii. Însușind biomasa unitară a arborilor pentru fiecare suprafață de probă, s-a determinat biomasa totală. Apoi, valorile au fost grupate pentru fiecare suprafață de probă, raportându-se biomasa rezultată la hectar. Mai departe, conversia biomasei la carbon s-a făcut mergând pe premisa că acesta reprezintă jumătate din cantitatea totală de biomasă estimată prin calcul, metodă expeditivă de estimare propusă de Karjalainen *et al.* (2002).

#### 4.3.2. Determinarea carbonului din litieră

Pentru convertirea masei verzi în masă uscată probele de litieră au fost puse la uscat la o temperatură de 65 C pe o perioadă de 48 h, într-o etuvă de capacitate mare (300 dm<sup>3</sup>, Binder). Cântărirea separat pe componente (frunze și fructe+lemn) s-a realizat cu o balanță de precizie ridicată ( $\pm 0,01$  g, Precisa). Cuantificarea carbonului organic s-a obținut folosind metoda expeditivă propusă de mai mulți autori (Gardenas *et al.*, 1998, Akselsson *et al.*, 2005) prin înmulțirea cantității de materie organică în stare uscată cu factorul de conversie 0,5. Rezultatul obținut a fost exprimat în tone la hectar.

#### 4.3.3. Determinarea carbonului organic, azotului total și pH-ului din sol

##### A. Determinarea carbonului organic

Probele de sol aduse în laborator s-au condiționat cu scopul efectuării analizelor specifice determinării carbonului organic, azotului total și a pH-ului. Astfel, toate probele au fost uscate la 40 °C timp de 48 ore până la masă constantă (Gruneberg *et al.*, 2014). Toate rădăcinile și pietrele (materialul scheletic) au fost separate de partea minerală. Proba rămasă a fost bine omogenizată și trecută printr-o sită cu diametru de 2 mm, pentru determinările ulterioare (Kavvadias *et al.*,



2001). Folosind metoda prin combustie uscată s-a urmărit o determinare mai bună a conținutului de carbon comparativ cu metoda analitică a oxidării umede. Cantitatea de carbon organic (CO) din sol a fost estimat prin extrapolarea conținutului de CO per masă de sol la rezerva de CO per volumul de sol, care a fost obținut prin multiplicarea CO cu densitatea aparentă a solului ( $D_a$ ) și adâncimea stratului de orizont (d) la care se face determinarea (Dincă *et al.*, 2015). Întrucât această abordare nu ia în considerare  $D_a$  pe profil de sol, deci o posibilă existență a unei erori, s-a folosit valori ale  $D_a$  care să țină cont de adâncimea standard a solului. Pentru determinarea cantității de CO acumulat la diferite adâncimi standard s-a utilizat următoarea formulă:

$$CO = CO\% \times D_a \times d \times CF_{st} \quad (1)$$

unde: CO – stocul de carbon din solul mineral ( $\text{kg m}^{-2} \times 10 = \text{t ha}^{-1}$ ); CO% – concentrația carbonului organic procentual rezultat din analizele de laborator (% ,  $\text{g g}^{-1}$ );  $D_a$  – densitatea aparentă a solului ( $\text{kg dm}^{-3}$ ); d – adâncimea sau grosimea orizontului analizat (cm);  $CF_{st}$  – factorul de corecție pentru schelet (=1).

Baza de date obținută a fost structurată pentru un singur tip de sol (eutricambosol) la adâncimile standard (0-10 cm, 11-20 cm, 21-40 cm, 41-80 cm) conform metodologiei europene de monitorizare a solurilor (Dincă *et al.*, 2015).

### **B. Determinarea azotului total**

Cantitatea de azotului total din sol s-a determinat folosind metoda Kjeldahl. Pentru calculul cantității de azot total din sol exprimat în tone la hectar, s-a folosit aceeași metodologie de calcul aplicată pentru determinarea stocului de carbon:

$$N = N\% \times D_a \times d \times CF_{st}$$

în care: N – stocul de azot pe profilul orizontului ( $\text{t ha}^{-1}$ ); N% – azotul total rezultat din analiză (%);  $D_a$  – densitatea aparentă ( $\text{kg dm}^{-3}$ ); d – adâncimea orizontului geometric (cm);  $CF_{st}$  – factorul de corecție pentru schelet (=1)

Stocul de azot total din sol a rezultat conform diferitelor studii (Gruneberg *et al.*, 2014, Cremer *et al.*, 2016) prin însumarea celor patru valori corespunzătoare adâncimilor de recoltare a probelor pentru fiecare profil în parte, respectiv 0-10 cm, 11-20 cm, 21-40 cm și 41-80 cm.

### **C. Determinarea pH-ului**

Pentru stabilirea reacției solurilor, atât pentru fiecare orizont geometric cât și pentru fiecare profil de sol, s-a determinat pH-ul, folosind metoda potențiomtrică, în suspensii de sol apoase -  $\text{H}_2\text{O}$ . Pentru probele din orizonturile minerale de sol, raportul sol/apă au fost de 1:2,5, ce a folosit pentru această determinare un electrod dublu de sticlă și calomel. Ulterior, pentru analiză

și interpretarea rezultatelor s-a calculat valoarea medie a pH-ului pentru fiecare profil de sol analizat.

#### 4.3.4. Determinarea fluxului de dioxid de carbon din sol

În urma măsurătorilor efectuate în teren, printr-un soft dedicat analizorului de gaze portabil (PP System Transfer Software), au rezultat valori individuale ale  $\text{FCO}_2$  din sol. Acestea au fost salvate în format Notepad, care ulterior au fost exportate pentru prelucrare într-un fișier de tip Excel. Pentru a compara datele  $\text{FCO}_2$  din sol cu alte studii, am convertit unitatea de măsură rezultată  $\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  în  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , prin multiplicarea valorilor obținute cu factorul 6,312.

Ulterior, pentru analiza  $\text{FCO}_2$  anual emis din sol, ultima transformare s-a multiplicat folosind coeficientul de transformare 3,780, rezultând valoarea exprimată în  $\text{Mg (t) C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ .

#### 4.3.5. Alte determinări

Pentru a vedea în ce măsură se poate surprinde variabilitatea spațială a  $\text{FCO}_2$ , s-au efectuat patru serii de măsurători în anii 2016 (3) – 2017 (1), similare prin folosirea aceluiași analizor de dioxid de carbon cu determinările efectuate în anul 2015. Pentru acest lucru, am investigat variabilitatea spațială a respirației solului la nivelul unui arboret pentru două blocuri experimentale diferite ca număr de măsurători, dar asemănătoare ca suprafață (4,0 ha, 50 x 50 m și 25 x 25 m). Datorită faptului că, nu am măsurat în același timp mai multe poziții (SP), variabilitatea temporală diurnă a fost inclusă în variabilitatea spațială. De altfel, s-a folosit blocul experimental 1, pentru analiza derivatei temporale, prin care s-a dorit să se cunoască dacă variabilitatea spațială poate fi influențată de o posibilă variabilitate diurnă a  $\text{FCO}_2$ . Gridul 1 cu un număr de poziții de măsurare la 50 m distanță una de alta, fiecare poziție având la rândul ei câte trei repetiții situate la o distanță de 0,5 m una de alta, deci un total de 75 de măsurători pe serie. Gridul 2 cu un număr de poziții de măsurare la 25 m distanță una de alta, fiecare la fel ca precedentul cu câte 3 măsurători efectuate la 0,5 m una de alta, deci un total de 243 de măsurători pe serie. Pentru fiecare punct de măsurare s-a determinat fluxul de dioxid de carbon din sol ( $\text{FCO}_2$ ), temperatura din sol ( $T_s$ ) și umiditatea volumetrică din sol ( $U_s$ ).

Măsurătorile au fost efectuate pe o perioadă de 3-4 zile, pentru patru perioade diferite din an: primăvara (luna mai), vara (luna august), toamna (luna noiembrie) și iarna (luna februarie). În total s-au determinat 1272 valori ale  $\text{FCO}_2$ ,  $T_s$  și  $U_s$ . Pentru fiecare poziție de măsurare, pe lângă determinările de respirație și cele pedoclimatice (temperatura și umiditatea din sol) s-au determinat diametrele de bază ale arborilor, distanța medie și minimă a centrului poziției față de arbori, procentul de participare a seminișului, procentul de participare a păturii erbacee, grosimea stratului de litieră, panta terenului, toate determinările pe o rază de 7 m față de centrul

fiecărei poziții. Totodată, pentru fiecare poziție s-a prelevat câte o probă de sol din primii 20 cm pe profil, pentru determinarea cantității de carbon organic și azot total.

#### **4.4. Analiza datelor**

##### **4.4.1. Analiza statistică**

Pentru variabilele unde au existat repetiții s-au calculat într-o primă etapă valorile mediei, medianei, minime, maxime, abaterea standard și coeficientului de variație. Pentru a compara mai multe medii specifice măsurătorilor între suprafețele de probă s-a recurs la analiza varianței (ANOVA). Pentru aceasta s-a testat mai întâi omogenitatea varianțelor pentru care s-a folosit testul Levene. Dacă varianțele au fost omogene, pentru a vedea care dintre medii sunt diferite între ele s-a utilizat testul post-hoc Tukey. În caz contrar, atunci când testul Levene a arătat că nu există omogenitate a varianțelor ( $p > 0,05$ ) s-a folosit un test neparametric (Kruskal-Wallis). De asemenea, pentru analiza efectului factorilor abiotici și biotici asupra variabilității  $\text{FCO}_2$  din sol s-a considerat necesară analiza Pearson. Pentru toate cazurile nivelul semnificației ales a fost de 0,05. Analiza regresiei simple și multiple a fost folosită pentru a testa și valorifica modele de respirație adecvate celor două experimente diferite efectuate, cel al analizei variabilității temporale și cel al analizei variabilității spațiale pentru fluxul de dioxid de carbon din sol.

##### **4.4.2. Analiza geospațială**

Nivelul spațialității poate fi descris folosind analiza geostatistică, ce furnizează date despre autocorelație. Condiția pentru punerea în aplicare a geostatisticii este prezența unei structuri spațiale în care observațiile pentru zonele limitrofe sunt mai asemănătoare decât pentru zonele distanțate (Robinson și Metternicht, 2006). Explicarea grafică a semivarianței este furnizată prin semivariogramă, ceea ce se rezumă prin gradul de autocorelație și intervalul geografic peste care este acesta semnificativ. Prelucrările statistice, pentru acest tip de analiză, au fost realizate în programul R (pachetul gstat, R Development Team, 2012). Hărțile de interpolare, folosind programul Statistica (metoda „distance weighted”), au fost create pentru a vizualiza distribuția spațială a respirației solului, temperaturii solului și umidității din sol.

##### **4.4.3. Criteriul informațional Akaike**

Unul din testele care dorește să dovedească o îmbunătățire reală a metodologiei de adăugare a unei variabile independente în model, îl constituie criteriul informațional Akaike. Criteriul informațional Akaike pentru un model de regresie liniar ce are un număr definit de variabile. Este considerată eficientă, adăugarea unei noi variabile în modelul de regresie liniară, acea operațiune care va determina o diminuare a valorii criteriului informațional Akaike, adică  $\text{AIC}_{n+1} < \text{AIC}_n$  (Pavelescu *et al.*, 2004).

## Capitolul V REZULTATE ȘI DISCUȚII

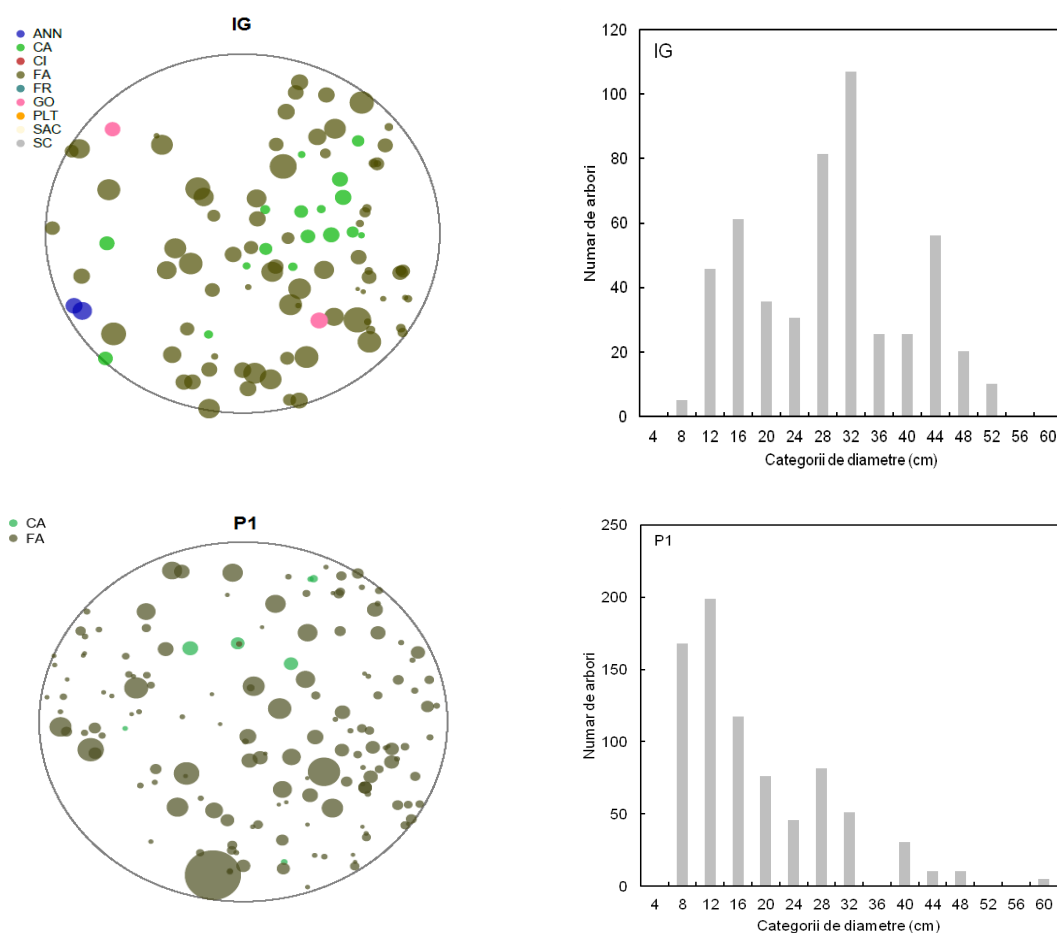
### 5.1. Considerații generale privind carbonul pe componente determinate

În vederea cuantificării stocului de carbon din pădure, s-a determinat pentru fiecare componentă, carbonul suprateran din biomasa arborilor, carbonul din orizontul de litieră și carbonul din sol.

### 5.2. Estimarea carbonului din biomasa arborilor

#### 5.2.1. Structura spațială a arboretelor

Determinarea structurii spațiale a arboretelor, a fost realizată pentru zece suprafețe de probă, celelalte două din cadrul experimentului fiind o suprafață fără vegetație lemnoasă iar cealaltă fiind o suprafață cu regenerare naturală.



**Figura 5.2.1.1.** Reprezentarea grafică a structurii orizontale și distribuția pe categorii de diametre \*  
Horizontal stand structure and distribution of the tree diameter categories

Structura arboretelor analizate din cadrul suprafețelor de probă este prezentată prin distribuția pe categorii de diametre și poziția arborelui față de centrul suprafeței, fiind rezultatul inventariierilor arborilor. Totodată, pentru exemplificare este redată reprezentarea grafică a structurii arboretelor în plan orizontal, pentru IG și P1 (**figura 5.2.1.1**). Prin această reprezentare,

se caracterizează raporturile de competiție, ca efect al poziției pe care arborii îl ocupă în cadrul fiecărei suprafețe analizate, compoziția speciilor ce alcătuiesc suprafețele și totodată diversitatea măsurilor de gospodărire efectuate.

**Tabelul 5.2.1.1.** Determinarea principalelor caracteristici dendrometrice ale suprafețelor de probă inventariate  
*The main dendrometric characteristics from sample plots*

Codul SP/ Caracteristici auxologice	DG	CR	RS	RM	RF	IG	P1	P2	G1	G2
Vârsta medie (ani)	15	25	70	70	70	85	130	150	170	180
Număr de arbori (N ha <sup>-1</sup> )	8900	4800	392	372	374	504	794	657	458	168
Suprafață de bază (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	18,3	14,3	27,2	30,0	32,4	33,3	28,0	25,2	37,1	27,2
Volum (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	77,9	71,1	423,4	456,5	494,3	501,6	324,2	362,2	675,5	561,8

Variabilitatea numărului de arbori este foarte ridicată, de la 8900 arbori la ha pentru arboretul de 15 ani (DG) la 168 arbori la ha, pentru un arboret unde s-au efectuat lucrări de transformare spre grădinărit (G2). Suprafața de bază variază de la 14,3 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> pentru arboretul cu vârsta de 25 de ani (CR) la 37,1 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (G1) pentru suprafața de probă unde elementul de arboret majoritar are vârsta de 170 de ani. În ceea ce privește volumul la hectar, acesta variază de la 71,1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> la 675,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, similar situațiilor întâlnite după suprafața de bază. Aceste diferențe în ceea ce privește caracteristicile dendrometrice se datorează diferențelor de vârstă ale arboretelor, competiției intra și interspecifică, cât și efectului produs de extragerea arborilor, prin măsurile de gospodărire propuse în planurile tehnice ale amenajamentului silvic.

### 5.2.2. Carbonul suprateran din biomasa arborilor

Pentru cele zece suprafețe inventariate, biomasa supraterană, exprimată ca funcție între volumul și greutatea volumică convențională a arborilor, a variat atât după vârsta arboretelor cât și după caracteristicile structurale determinate ale acestora (**tabelul 5.2.2.1**).

**Tabelul 5.2.2.1.** Cantitatea de biomasă și carbon din suprafețele de probă  
*The quantity of biomass and carbon from sample plots*

S.P.(ani)	DG(15)	CR(25)	RS(70)	RM(70)	RF(70)	IG(85)	P1(110)	P2(130)	G1(170)	G2(180)
Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	44,4	37,8	235,8	248,0	276,4	274,4	158,0	197,4	368,2	306,0
Carbon (t ha <sup>-1</sup> )	22,2	18,9	117,9	124,0	138,2	137,2	79,0	98,7	184,1	153,0

Proportional cu biomasa supraterană a arborilor, cantitatea de carbon determinată a variat de la 18,9 t ha<sup>-1</sup> în arboretul de 25 de ani (CR) la 184,1 t ha<sup>-1</sup> în arboretul de fag cu mai multe elemente de arboret, unde s-au efectuat lucrări de transformare spre grădinărit (G1).

Alte studii au raportat o cantitate de carbon mai mică pentru arboretele de vârstă mijlocie și mai mare la arboretele bătrâne, comparativ cu prezentul studiu, efectuarea la timp și intensitatea mai ridicată a măsurilor silvotehnice fiind probabil una din cauze. Astfel, Lecoite *et al.*, (2006), prin efectuarea unui inventar în pădurile de fag din nord-estul Franței, au raportat un stoc de carbon de 86,7 t ha<sup>-1</sup> pentru arboretele cu vârstă între 15-60 ani, un stoc de carbon de 209,1 t ha<sup>-1</sup> pentru arboretele cu vârsta între 60-90 ani și un stoc de carbon de 220,7 t ha<sup>-1</sup> pentru arboretele de peste 90 de ani. Pentru aceeași regiune, Huet *et al.*, (2002) au constatat o variabilitate mare a stocului de carbon în biomasa arborilor (considerând inclusiv rădăcinile) de la 11 t ha<sup>-1</sup> pentru făgetele tinere de 8 ani la 232 t ha<sup>-1</sup> pentru făgetele bătrâne de 145 ani

### 5.3. Determinarea carbonului din litieră

Orizontul de litieră este din punct de vedere al grosimii, destul de redus raportat la profilul solului, însă conține o cantitate foarte ridicată de materie organică. Determinarea carbonului organic din orizontul de litieră s-a efectuat folosind factorul de estimare de 0,5 din masa organică uscată, propus în studiile anterioare (Gardenas *et al.*, 1998, Akselsson *et al.*, 2005). În **tabelul 5.3.2** se prezintă cantitatea medie (abaterele standard) de carbon organic din litieră, valori înregistrate pe componentele litierii cât și valorile totale.

**Tabelul 5.3.2.** Valorile medii și abaterile standard ale conținutului de carbon pe componentele litierii  
*The mean values and standard deviation of the carbon content from litter components*

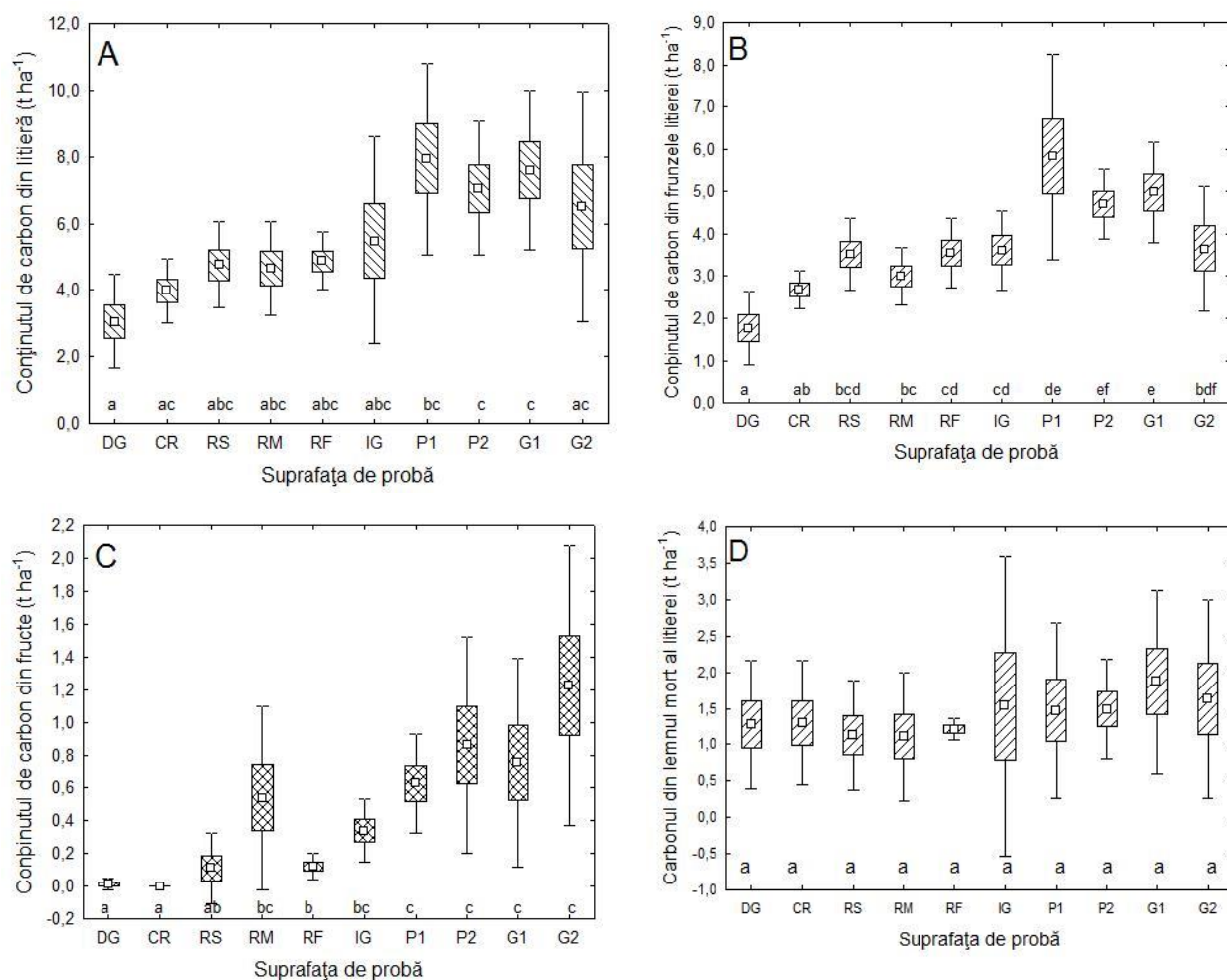
Componentele litierii	Conținutul de carbon pentru suprafețele de probă (t ha <sup>-1</sup> )									
	DG	CR	RS	RM	RF	IG	P1	P2	G1	G2
Frunze	1,76 (±0,70)	2,69 (±0,36)	3,52 (±0,68)	3,00 (±0,54)	3,55 (±0,67)	3,61 (±0,76)	5,83 (±1,96)	4,70 (±0,67)	4,99 (±0,96)	3,65 (±1,20)
Fructe	0,01 (±0,03)	0,00 (±0,00)	0,11 (±0,71)	0,54 (±0,45)	0,12 (±0,07)	0,34 (±0,16)	0,63 (±0,24)	0,86 (±0,53)	0,75 (±0,51)	1,23 (±0,69)
Lemn	1,28 (±0,71)	1,30 (±0,69)	1,13 (±0,60)	1,11 (±0,71)	1,21 (±0,11)	1,53 (±1,66)	1,47 (±0,97)	1,49 (±0,55)	1,86 (±1,02)	1,63 (±1,10)
Total	3,05 (±1,13)	3,98 (±0,78)	4,76 (±1,04)	4,65 (±1,14)	4,88 (±0,69)	5,49 (±2,50)	7,93 (±2,33)	7,05 (±1,61)	7,60 (±1,91)	6,50 (±2,77)

Cantitatea de carbon organic din litieră scade de la arboretele bătrâne (7,93 t ha<sup>-1</sup>) la cele tinere (3,05 t ha<sup>-1</sup>). Cea mai mare cantitate de carbon se găsește acumulată în frunze, aceasta variind între 1,76 și 5,83 t ha<sup>-1</sup>, iar cantitatea de carbon din lemnul mort, cu valorile cele mai ridicate (1,86 și 1,63 t ha<sup>-1</sup>) se găsește în arboretele bătrâne cu lucrări de transformare spre grădinarit.

Pentru a vedea dacă există diferențe între conținutul de carbon din litieră (**figura 5.3.1.A**) între diferite suprafețe de probă s-a aplicat testul neparametric Kruskal- Wallis. Ulterior, acest procedeu a fost aplicat pentru fiecare componentă a litierii în parte: frunze (**figura 5.3.1.B**), fructe (**figura 5.3.1.C**), respectiv lemn mort (**figura 5.3.1.D**). Diferențele semnificative între suprafețe sunt exprimate prin litere diferite. Cantitatea de carbon din litieră cunoaște valori scăzute la arboretele tinere, comparativ cu cele bătrâne. Astfel, pentru arboretele tinere,

conținutul de carbon are o valoare medie de  $4,6 \text{ t ha}^{-1}$ , comparativ cu arboretele bătrâne unde valoarea medie determinată a fost de  $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ . De asemenea, acolo unde intensitatea intervenției este diferită, ca în cazul aplicării răriturilor, nu au existat diferențe semnificative între valorile înregistrate ale carbonului organic din litieră.

Cantitatea de carbon din litiera frunzelor a prezentat aceeași tendință ca și cantitatea de carbon din litiera totală. În același timp, conținutul de carbon din fructele din litieră, prezintă valori mari în arboretele bătrâne datorită existenței fructificațiilor periodice comparativ cu arboretele tinere unde conținutul de carbon din fructe este datorat speciilor repede crescătoare (salcie căprească, salcâm).

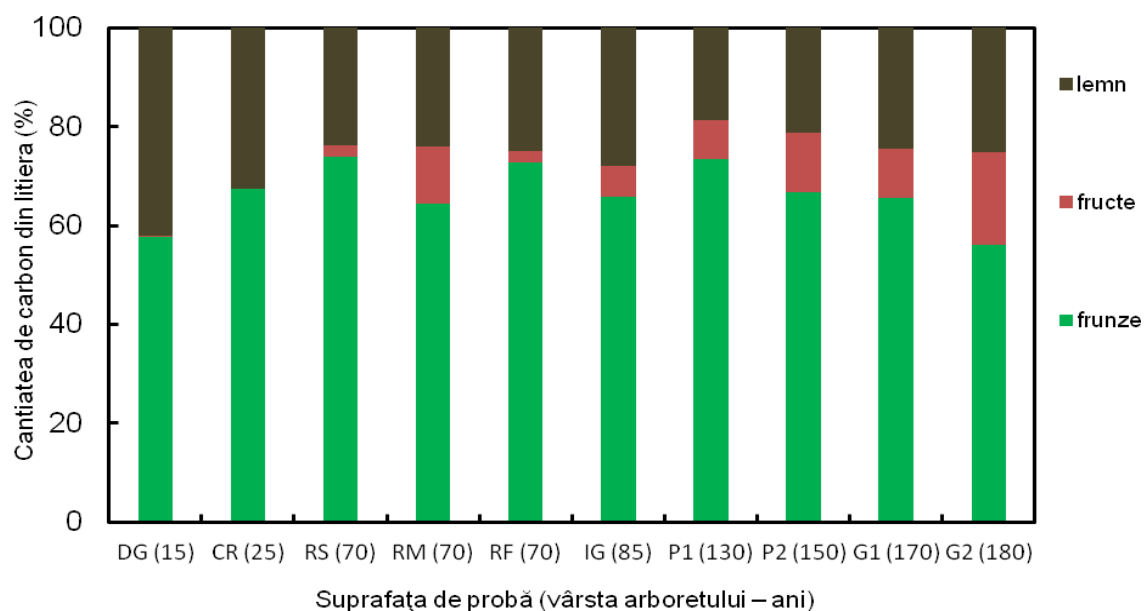


**Figura. 5.3.1.** Analiza variabilității carbonului din litieră (A) și pe componentele acesteia (frunze - B, fructe - C și lemn mort - D) în suprafețele de probă analizate.

*The analysis of litter carbon variability (A) and by his components (leaves - B, fruits - C, dead wood - D) from plots*

De asemenea, conținutul de carbon din lemnul mort ( $<1 \text{ cm}$ ) nu a înregistrat diferențe semnificative între suprafețele analizate, probabil mortalitatea exemplarelor de vârste mici datorate concurenței (faza de dezvoltare semințș-nuieliș) coroborat cu operațiunile culturale aplicate, pot compensa resturile de exploatare considerabile la arboretele bătrânel. Singura componentă a litierii pentru care nu există diferențe semnificative între suprafețe, a fost lemnul

mort (**figura 5.3.1 D**). Totodată, se observă că, cea mai mare cantitate de litieră se găsește în arborele bătrâne (130-180 ani) iar cea mai mică cantitate în arborele tinere. S-a constatat că, după vârsta de 80 de ani (IG), rata de acumulare a materiei organice în orizontul de litieră cunoaște o creștere destul de slabă, chiar dacă după conținutul de lemn mort, acest lucru nu este relevant. Analiza procentuală a conținutului de carbon pentru fiecare componentă a litierii (**figura 5.3.2.**) arată o creștere a cantității procentuale a carbonului din fructe o dată cu vârsta, valoarea minimă, sub 1%, înregistrându-se la arborele de 15 și 25 de ani (DG și CR) iar valoarea maximă înregistrându-se la arborele cel mai bătrân, parcurs cu lucrări de transformare spre grădinarit (P2). Conținutul procentual de carbon din frunze și lemn nu înregistrează diferențe semnificative între arborele. Aceste rezultate pot fi atribuite pe de o parte efectului eliminării naturale datorate competiției și a consistenței pline pentru arborele tinere, iar pe de altă parte consistenței variabile (0,5-0,9) dar și a resturilor de exploatare prezente în arborele unde s-au intervenit cu tratamente de regenerare.



**Figura. 5.3.2.** Cantitatea procentuală a carbonului pe fiecare componentă a litierii pentru fiecare suprafață de probă  
*The percentage of carbon by each component of litter for each plot*

Mund și Schulze (2006) consideră că diferențele statistic semnificative înregistrate pentru conținutul de carbon din litieră sunt corelate cu principalele caracteristici ale arboretelor, dar pot fi corelate pozitiv și după cantitatea de material vegetal căzut și acumulat în anii anteriori. Același studiu a găsit o cantitate de carbon stocat în orizontul de litieră ce variază destul de puțin, între 3,0 – 4,1 t ha<sup>-1</sup>, argumentând aceste mici diferențe ca fiind datorate activităților biologice intense din sol, dar și a condițiilor staționale locale destul de favorabile. Schulp *et al.*, (2008) consideră justificată creșterea stratului organic de litieră proporțional cu vârsta, găsind o variabilitatea foarte mare a stocului de carbon, de la 12,3 t C ha<sup>-1</sup> la arborele tinere de fag până la



51,1 t C ha<sup>-1</sup> pentru arborete bătrâne de fag. Cremer *et al.*, (2016) într-o pădure matură de fag situată pe cambisoluri au găsit un conținut de carbon din orizontul organic de 9,8 (±3,7) t ha<sup>-1</sup>.

#### 5.4. Determinarea carbonului organic, azotului total și pH-ului

##### 5.4.1. Stocul de carbon organic din sol

Diferențele cuantificate ale stocului de carbon organic din sol pentru suprafețele de probă analizate, au fost întâlnite atât între suprafețele de probă cât și pe adâncimea profilului solului. Conform datelor de sinteză (**tabelul 5.4.1.1**), cea mai ridicată valoare a stocului de carbon (114 t ha<sup>-1</sup>) s-a înregistrat la un arboret de 70 de ani (RS), valoare maximă care s-a menținut și pentru primii 10 cm pe profilul solului, de 31,9 t ha<sup>-1</sup>. Valoarea minimă determinată pe tot profilul solului a fost de 64,9 t ha<sup>-1</sup>, ce s-a înregistrat la un arboret bătrân de fag (G2), unde s-au efectuat lucrări de transformare spre grădinărit.

**Tabelul 5.4.1.1.** Stocul de carbon organic după adâncimea solului și suprafețele de probă analizate  
*The organic carbon stock by soil depth in the research plots*

Adâncimea (cm)	Stocul de carbon (t ha <sup>-1</sup> )												Media
	OV	RN	DG	CR	RS	RM	RF	IG	P1	P2	G1	G2	
0-10	25,23	13,38	28,46	18,64	38,90	31,91	25,23	20,62	18,74	27,71	24,55	14,28	23,97
11-20	18,74	7,02	14,39	12,01	25,81	22,36	15,83	13,15	9,19	12,58	14,61	7,87	14,46
21-40	21,46	26,53	13,55	17,91	18,63	19,10	23,55	14,53	16,71	12,07	17,67	15,26	18,08
41-80	31,49	31,97	22,14	18,64	31,00	19,64	29,54	27,58	23,14	17,63	16,11	27,58	24,71
Total	96,92	78,90	78,55	67,19	114,34	93,01	94,16	75,89	67,79	69,99	72,94	64,99	81,22

Pe profilul solului, valorile cele mai ridicate ale conținutului de carbon s-a înregistrat, de obicei, în primii centimetri. Repartizarea stocului de carbon pe profilul solului, a variat astfel: pentru primii 10 cm, s-a găsit o cantitate medie de 23,97 t ha<sup>-1</sup>, pentru 11- 20 cm, valoarea medie înregistrată a fost de 14,47 t ha<sup>-1</sup>, pentru orizontul geometric 21-40 cm, valoarea cumulată a fost de 18,08 t ha<sup>-1</sup>, iar ultimii 40 cm analizați a înregistrat o valoare cumulată de 24,71 t ha<sup>-1</sup>, deși raportată procentual cu primul orizont, reprezintă aproximativ 25% din cantitatea de carbon înregistrată de acesta. Astfel, cantitatea medie totală a fost de 81,22 t ha<sup>-1</sup>.

Un studiu recent efectuat în România (Dincă *et al.*, 2012) a găsit pentru tipul de sol eutricambosol (raportate pe orizonturi geometrice), următoarele valori ale stocului de carbon organic din sol: 42 t ha<sup>-1</sup> (0-10 cm), 26 t ha<sup>-1</sup> (10-20 cm), 33 t (20-40 cm), 40 t ha<sup>-1</sup> (>40 cm), deci un total de 140 t ha<sup>-1</sup>. Pentru solurile din Germania, clasa cambisoluri, Gruneberg *et al.* (2014) au comparat valorile periodice ale rezervei de carbon pentru stratul mineral pentru o adâncime de 30 cm, găsind o valoare de 68,3 ±2,2 t ha<sup>-1</sup>, mai ridicată comparativ cu valoarea medie determinată în prezentul studiu. Batjes (2002) găsește pentru solurile din clasa cambisoluri din centrul și sudul Europei un stoc de carbon pentru primii 30 cm de 69 t ha<sup>-1</sup> iar pentru primii 100 cm o valoare de 118 t ha<sup>-1</sup>. Același autor (Batjes, 2014) publică un stoc de carbon pentru tipul eutricambosol, la nivel mondial, de 88 t ha<sup>-1</sup>, pentru primii 100 cm, pentru o valoare medie a coeficientului de variație de 51%.

### 5.4.2. Stocul de azot total din sol

Conținutul de azot total din sol, determinat pentru fiecare orizont geometric a variat de la 6,60 t N ha<sup>-1</sup>, întâlnit la un arboret unde s-au efectuat tăieri de regenerare, cu vârsta de 150 de ani, (P2), la 17,49 t ha<sup>-1</sup>, valoare determinată la un arboret de 70 de ani, din grupul de rărituri (RS). Totodată, valoarea medie a stocului de azot determinat a fost de 10,15 t N ha<sup>-1</sup>.

**Tabelul 5.4.2.1.** Stocul de azot pe profilul solului  
*The total nitrogen stock on soil profile*

Adâncimea sol (cm)	Stocul de azot (t ha <sup>-1</sup> )												Media
	OV	RN	DG	CR	RS	RM	RF	IG	P1	P2	G1	G2	
0-10	2,61	1,47	2,00	1,54	2,89	2,50	2,05	2,93	1,54	2,01	2,06	0,98	2,05
11-20	2,02	0,89	1,22	0,99	1,92	1,85	1,45	2,21	0,88	1,23	1,34	0,76	1,40
21-40	3,74	2,21	1,53	1,51	3,52	4,78	2,48	2,80	1,52	1,28	2,02	1,78	2,43
41-80	6,09	3,55	3,09	4,14	9,15	5,69	4,07	4,60	3,09	2,07	2,60	3,06	4,27
Total	14,47	8,13	7,84	8,19	17,49	14,81	10,05	12,54	7,03	6,60	8,01	6,58	10,15

Repartiția pe profil a stocului de azot este în general asemănătoare aceleia a conținutului de humus, scăzând din orizontul superior către baza profilului. Astfel, cantitatea de azot din sol cunoaște o scădere pe profil, în primii 10 cm înregistrând o valoare medie de 2,05 t ha<sup>-1</sup>, pentru 11-20 cm, valoarea înregistrată a fost de 1,40 t ha<sup>-1</sup>, pentru 21-40 cm, valoarea determinată a fost de 2,43 t ha<sup>-1</sup>. Pentru ultimii 40 cm, valoarea calculată a fost de 4,27 t ha<sup>-1</sup>, ceea ce reprezintă circa 52% din rezerva de azot acumulată în primii 10 cm din profilul solului.

Astfel, se observă că cea mai scăzută cantitate de azot (în medie cam 7 t ha<sup>-1</sup>) a fost întâlnită în arboretele bătrâne parcurse atât cu lucrări progresive cât și cu lucrări de transformare spre grădinărit. Următorul grup de arborete cu o medie a azotului din sol de 8 t ha<sup>-1</sup> este reprezentat de arboretele foarte tinere cu vârsta variind de la 5 la 25 de ani. Cele mai mari valori ale conținutului de azot din sol au fost găsite pentru arboretele de vârstă medie, parcurse cu lucrări de rărituri. Totodată, cantitatea de azot din sol scade pe profil.

Alte studii efectuate atât la nivel mondial cât și european confirmă variabilitatea mare a conținutului de azot pe profilul solului, precum și valorile găsite în prezentul experiment. Astfel, Bațjes (1996, 2002, 2014), face o analiză a stocului de azot total determinat după tipurile de soluri și adâncimea înregistrată pe profilul acestora. Făcând referire la stocul de azot înregistrat la nivel mondial, pentru clasa cambisoluri, s-a determinat o cantitate de 5,8 t ha<sup>-1</sup> pentru 0-30 cm, 7,7 t ha<sup>-1</sup> pentru 0-50 cm iar pentru 0-100 cm valoarea de 11,2 t ha<sup>-1</sup>.

### 5.4.3. Valorile pH-ului din sol

Aciditatea solului, exprimată prin indicele pH, este o consecință a unui complex de factori și transformări fizico-chimice și biologice a solului având astfel în sol caracterul de determinant și de factor ecologic propriu-zis (Chiriță, 1974). Rezultatele valorilor medii înregistrate pentru

fiecare suprafață de probă cât și valorile pH-ului pe adâncimile profilului de sol sunt prezentate sintetic în **tabelul 5.4.3.1**.

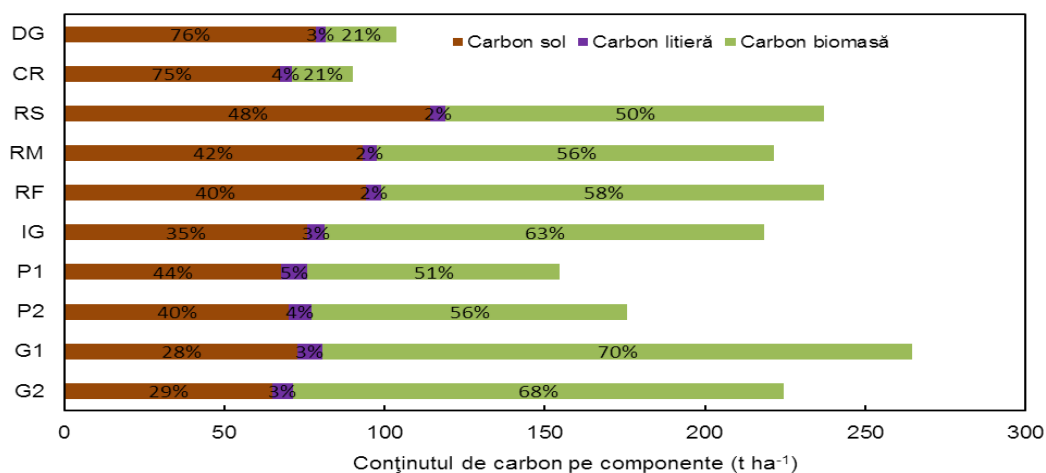
**Tabelul 5.4.3.1.** pH-ul înregistrat pe profilul solului  
*The pH coefficients variation by soil profile*

Adâncimea sol (cm)	pH												Media
	OV	RN	DG	CR	RS	RM	RF	IG	P1	P2	G1	G2	
0-10	5,3	4,7	5,4	5,5	6,2	4,9	5,0	5,0	5,3	5,3	5,8	5,0	5,3
11-20	5,5	4,8	5,5	5,0	5,7	4,9	4,9	5,3	5,5	5,4	5,7	5,1	5,3
21-40	5,6	5,8	5,8	5,1	5,5	5,3	5,0	5,5	5,7	5,2	5,8	5,2	5,5
41-80	5,7	5,6	5,9	5,1	5,6	5,6	5,3	5,4	5,6	5,3	5,8	5,5	5,5
Media	5,5	5,2	5,6	5,2	5,8	5,2	5,1	5,3	5,5	5,3	5,8	5,2	5,4

Pentru suprafețele analizate, solurile sunt slab spre moderat acide. În primii 10 cm ai profilului pH-ul variază între 4,73 – 6,20, pentru nivelul 11-20 cm , pH-ul variază între 4,83 – 5,73, la nivelul 21-40, pH-ul între 4,97-5,81, iar pentru ultima adâncime de prelevare 41-80 cm, pH-ul variază între 5,11-5,93m. În intervale apropiate, Târziu și Spârchez (2013) confirmă că, reacția solului este slab - moderat acidă (pH între 5,8-6,5) pentru eutricambosoluri, ce sunt caracterizate de o fertilitate ridicată pentru goruneto-făgete și făgete.

### 5.5. Stocul de carbon pe fiecare componentă (biomasă, litieră, sol)

Valoarea maximă a carbonului cumulat pe cele trei componente (biomasă, litieră și sol) s-a determinat în suprafața de probă G1 (264,6 t ha<sup>-1</sup>) iar valoarea minimă în suprafața de probă CR (90,1 t ha<sup>-1</sup>).



**Figura 5.5.1.** Cantitatea de carbon pe componente (sol, litieră și biomasă) după suprafețele de probă.  
*The carbon quantity on components (soil, litter and tree biomass) by plots.*

Cantitatea de carbon determinată pe fiecare componentă (biomasă, litieră, sol), este descrisă sugestiv în **figura 5.5.1**. Procentual, conținutul de carbon din sol scade de la 76%, întâlnit la grupul arboretelor tinere (15-25 ani) la 28% întâlnit la grupul arboretelor bătrâne (170-180 ani), parcurse cu lucrări de transformare spre grădinărit. Situația este opusă în cazul biomasei unde conținutul procentual de carbon din biomasă scade de la grupul arboretelor bătrâne (69%) la grupul arboretelor tinere (21%). Referitor la conținutul procentual de carbon din litieră, acesta

variază între 2% și 4%, neexistând diferențe semnificative între arborete. Valorile medii procentuale ale conținutului de carbon se regăsesc la arboretele parcurse cu rărituri, acesta variind între 42-48% carbon în sol, 2-4% carbon în litieră și 50-58% carbon în biomasă.

### 5.6. Valorile indicelui suprafeței plantei

Valorile indicelui suprafeței plantei (PAI) obținute prin utilizarea mijloacelor optice DHP, ca fiind suma valorilor obținute din vară, ceea ce semnifică indicele suprafeței foliare (LAI) și valorile obținute din iarnă, ce reprezintă indicele suprafeței lemnului (tulpini, ramuri, WAI). Valorile obținute au rezultat prin diferite metode, ce au fost corectate cu panta sau starea de agregare a aparatului foliar.

**Tabelul 5.6.1.** Valorile medii și abaterile standard ale indicelui suprafeței plantei  
*The mean value and standard deviation on plant area index*

SP	LAI B	LAI 2000	LAI 2000G	LAI S	LAI E	LAI adoptat
DG	2,22 (±0,10)	2,11(±0,27)	2,12(±0,27)	1,92(±0,24)	2,00(±0,09)	2,22 (±0,10)
CR	2,62(±0,26)	2,61(±0,27)	2,53(±0,24)	2,52(±0,39)	2,33(±0,26)	2,62(±0,26)
RS	2,69(±0,17)	2,51(±0,14)	2,47(±0,13)	2,23(±0,13)	2,21(±0,12)	2,69(±0,17)
RM	2,83(±0,20)	2,62(±0,11)	2,61(±0,09)	2,39(±0,18)	2,33(±0,12)	2,83(±0,20)
RF	2,59(±0,17)	2,51(±0,18)	2,65(±0,17)	2,52(±0,27)	2,59(±0,19)	2,59(±0,17)
IG	3,12(±0,11)	2,96(±0,20)	2,94(±0,21)	3,09(±0,28)	2,65(±0,19)	3,12(±0,11)
P1	3,81(±0,30)	3,65(±0,16)	3,39(±0,13)	3,47(±0,19)	3,12(±0,09)	3,81(±0,30)
P2	2,11(±0,20)	2,14(±0,24)	2,26(±0,12)	2,50(±0,27)	2,21(±0,17)	2,11(±0,20)
G1	3,12(±0,10)	3,22(±0,27)	3,23(±0,27)	3,53(±0,56)	2,94(±0,28)	3,12(±0,10)
G2	2,72(±0,48)	2,67(±0,35)	2,70(±0,34)	2,89(±0,59)	2,54(±0,33)	2,72(±0,48)

Datorită faptului că, metodele optice subestimează valorile LAI (Breda et al., 2003, Teodosiu și Guiman, 2011) s-au folosit valorile maxime corectate ce au rezultat din prelucrarea DHP, indiferent de metoda de calcul utilizată. Astfel cele mai mari valori s-au determinat din calcul, folosind metoda LAI Bonhom.

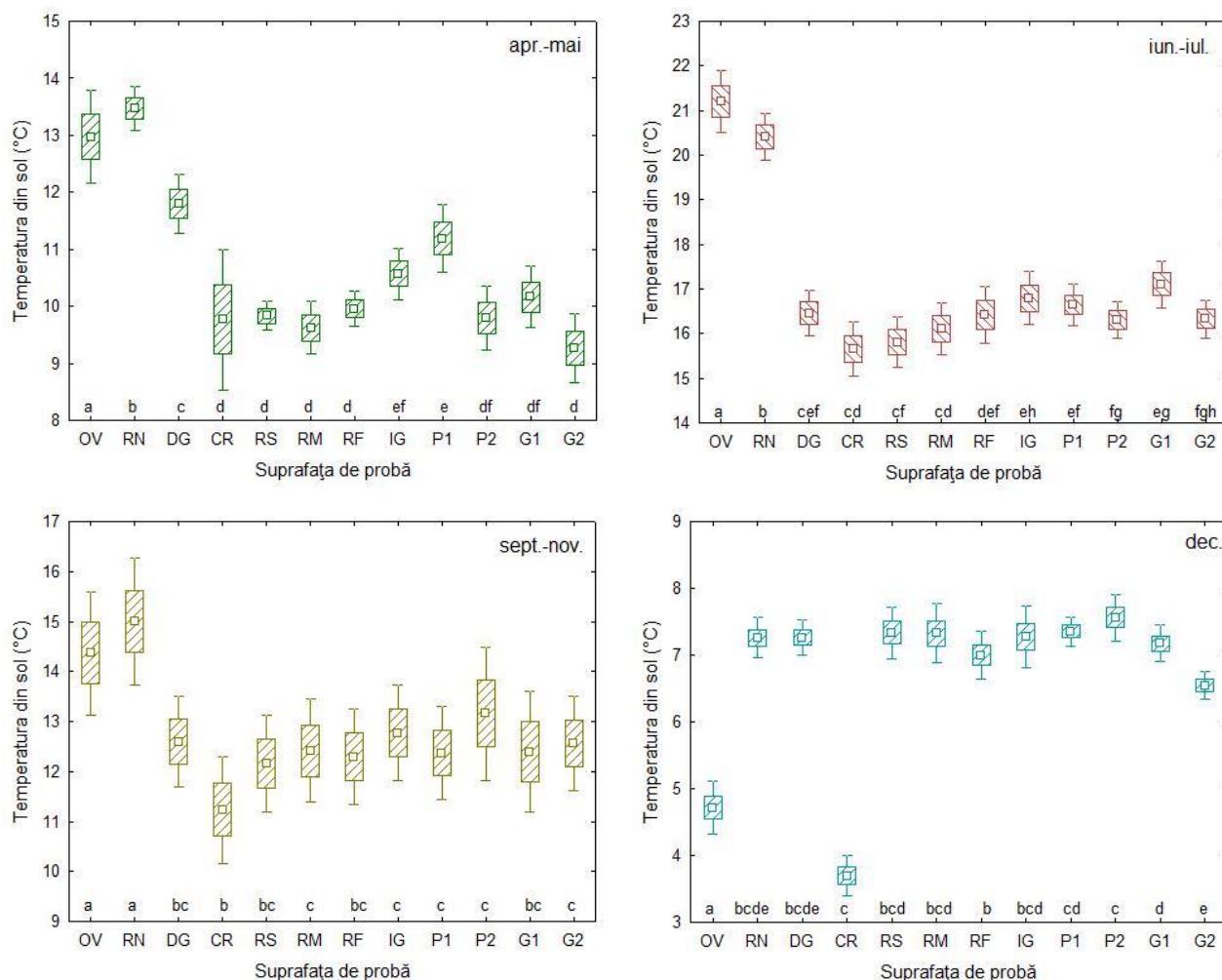
### 5.7. Analiza variabilității sezoniere a factorilor pedoclimatici

#### 5.7.1. Variabilitatea sezonieră a temperaturii din sol

La nivelul tuturor suprafețelor de probă, temperatura din sol a înregistrat o valoare maximă de 24,4°C în luna iulie (23.VII) în suprafața fără vegetație forestieră (OV) și o valoare minimă de 3,7°C în luna decembrie (3.XII), în arboretul de 25 de ani (CR). Curbele de variație ale temperaturii din sol la nivel sezonier urmăresc aceeași alură, cu o valoare maximă în sezonul estival și o valoare minimă înregistrată în ultima parte a anului, respectiv în luna decembrie.

Mai departe s-a dorit să se vadă dacă valorile medii ale temperaturii din sol au diferit semnificativ între suprafețele de probă analizate ( $p < 0,05$ ). Această analiză s-a realizat pentru fiecare sezon în parte (**figura 5.7.2.**), grupându-se măsurătorile pentru diferite perioade din an

astfel: aprilie-mai, iunie-august, septembrie-noiembrie și decembrie. Întrucât testul de omogenitate a varianțelor (testul Levene) a fost semnificativ ( $p < 0,05$ ) s-a utilizat mai departe pentru testarea diferențelor mediilor temperaturii din sol testul neparametric Kruskal - Wallis.

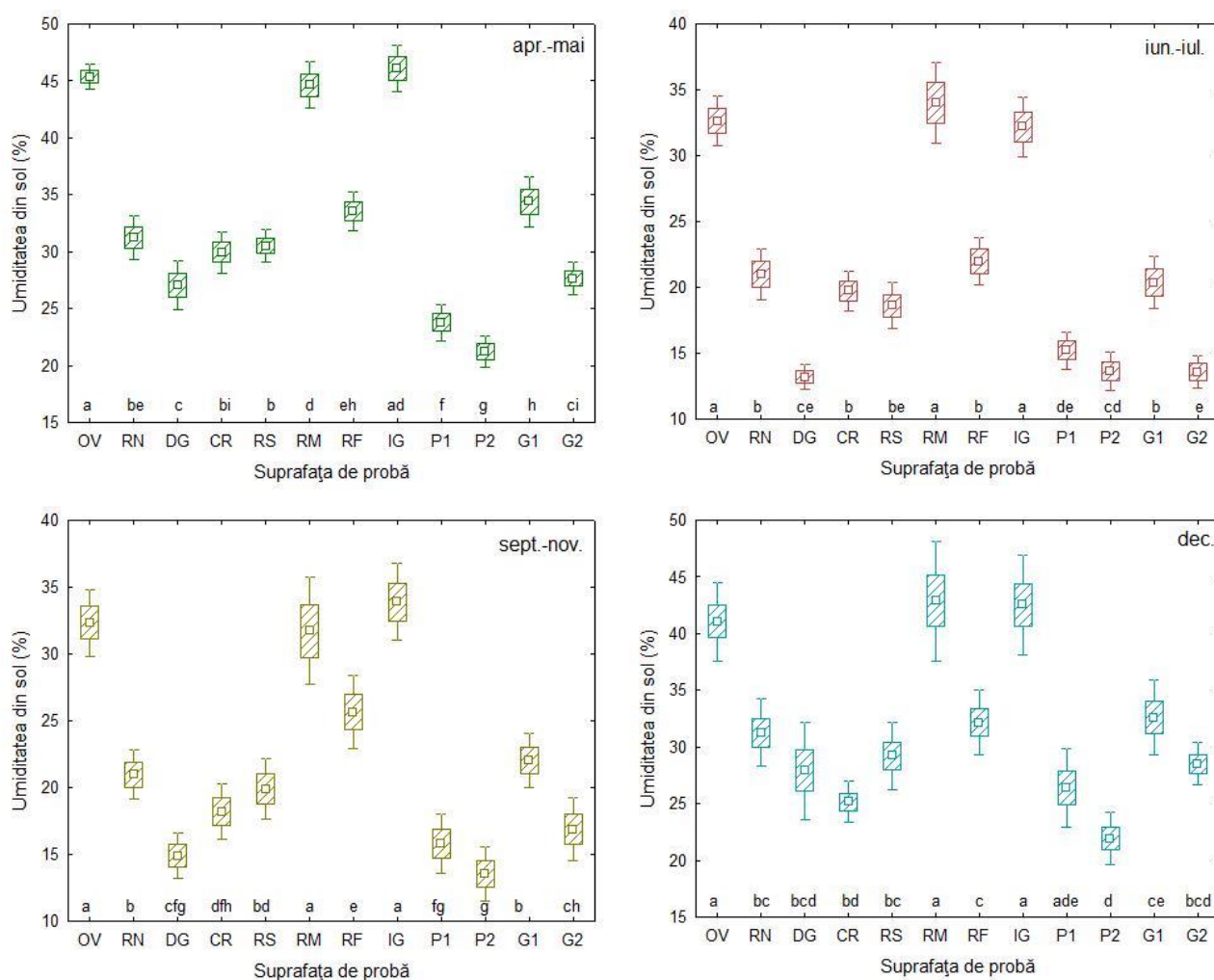


**Figura 5.7.2.** Analiza variabilității și testarea semnificației temperaturii din sol pentru suprafețele de probă  
*The variability analysis and the significance testing of soil temperature for each plot*

Așa cum se observă în **figura 5.7.2.**, grupul celor două suprafețe OV și RN prezintă valori ridicate ale temperaturii din sol comparativ cu celelalte suprafețe, cu excepția perioadei de iarnă unde diferențe semnificative s-au întâlnit doar pentru suprafața fără pădure. Totodată pentru aceeași perioadă suprafața de 25 de ani este diferită semnificativ de restul suprafețelor, înregistrând cea mai scăzută temperatură din sol în decembrie. Pentru grupul suprafețelor cu rărituri nu s-au înregistrat diferențe semnificative între valorile medii ale temperaturii din sol, fapt asemănător întâlnit pentru grupul arboretelor bătrâne unde s-a intervenit cu tăieri de regenerare; cu excepția perioadei aprilie-mai între suprafețele de probă P1 și P2 au existat diferențe de temperatură în sol, iar în luna decembrie au existat pentru suprafețele G1 și G2 diferențe semnificative, în ultimul arboret înregistrându-se valoare cea mai scăzută a temperaturii din sol.

### 5.7.2. Variabilitatea sezonieră a umidității din sol

Umiditatea volumetrică (%) din sol a avut o valoare medie 25,1%. Valoarea minimă înregistrată a fost de 5,13%, în data de 23.IX la arboretul cu tăieri de regenerare de 150 de ani (P2). În ceea ce privește valoarea maximă înregistrată a umidității din sol, aceasta cunoaște trei valori similare și anume: 47,7% pentru suprafața fără vegetație forestieră (OV) în 12.V., 47,4% pentru arboretul cu rărituri de tip moderat (RM) în 02.IV și respectiv 47,3% pentru arboretul de 85 de ani (IG) în 05.V. Curbele de variație ale umidității volumetrică din sol, prezintă trenduri asemănătoare, cu o valoare maximă înregistrată în perioada de primăvară și o valoare minimă înregistrată imediat după perioada de secetă, respectiv în luna septembrie. Totodată valorile umidității din sol prezintă o descreștere în lunile de vară și în prima lună de toamnă, după care încep din nou să crească.



**Figura 5.7.2.** Analiza variabilității și testarea semnificației umidității din sol pentru suprafețele de probă  
*The variability analysis and the significance testing of soil moisture for each plot*

Mai departe s-au analizat diferențele între mediile umidității din sol pentru patru perioade distincte din an, similar analizei variabilității temperaturii din sol. Analiza varianței a arătat că există diferențe semnificative între medii, însă mai întâi pentru testarea omogenității mediilor s-a folosit testul Levene. Apoi s-a aplicat testul post hoc Tukey pentru a vedea care dintre valorile

medii ale umidității din sol pentru suprafețele analizate sunt diferite. Pentru cazul neomogenității mediilor (pentru datele înregistrate în luna decembrie) s-a aplicat testul neparametric Kruskal Wallis. Valorile medii ale umidității determinate la 20 cm în sol pentru diferite suprafețe de probă au prezentat un trend asemănător pentru fiecare din cele patru perioade din an analizate (**figura 5.7.2.**). Astfel, în fiecare din perioadele din an, suprafețele cu umiditatea din sol cea mai ridicată au fost: suprafața fără vegetație forestieră, arboretul de 70 de ani parcurs cu răritură moderată și arboretul de 85 de ani parcurs cu lucrări de igienă, acestea prezentând valori medii ale umidității ușor mai ridicate de 45% în perioada aprilie-mai, puțin mai scăzute de 45% în luna decembrie și în jurul valorii de 33% pentru lunile de vară și toamnă.

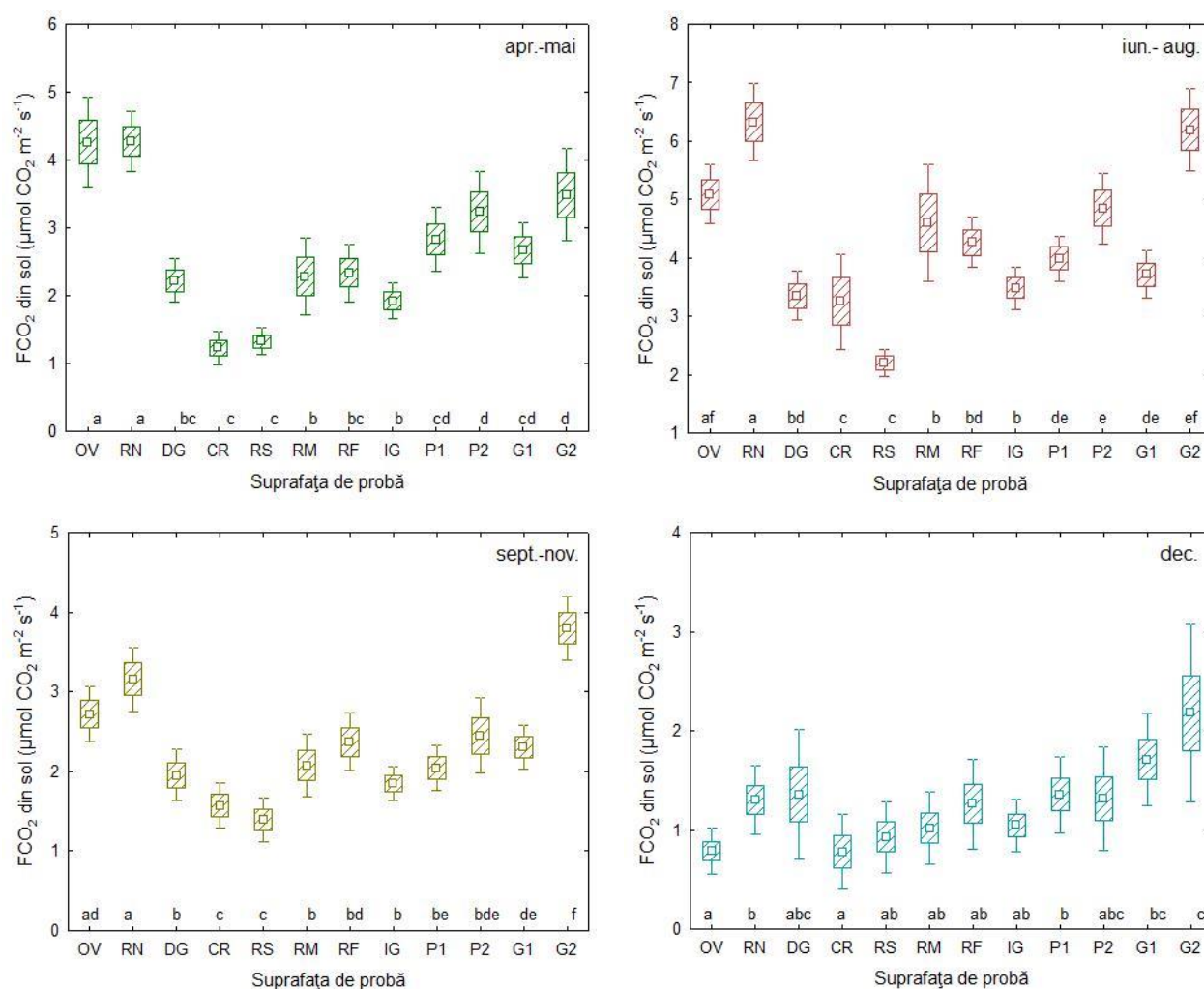
Umiditatea cea mai scăzută din sol a fost înregistrată în arboretele bătrâne parcurse cu lucrări progresive (variind de la 15 % în lunile de toamnă și vară la 21-22% primăvara și iarna). Acestui grup cu umiditate scăzută i s-a alăturat și arboretul parcurs cu lucrări de degajări în aproape toate perioadele din an analizate (excepție făcând perioada de primăvară).

Pentru grupul de rărituri există diferențe semnificative între răritura moderată și celelalte două, cu excepția perioadelor de primăvară și de toamnă, în care s-au determinat diferențe semnificative pentru toate cele trei suprafețe de probă. Situație similară a existat între arboretele bătrâne cu tăieri de regenerare (P1 și P2), diferențe semnificative ale umidității din sol fiind înregistrate doar în perioada septembrie-noiembrie. Între cele două arborete parcurse cu tăieri de transformare spre grădinărit (G1 și G2) s-au găsit diferențe semnificative pentru aproape toate perioadele analizate cu excepția măsurătorilor efectuate în decembrie. Pentru suprafața fără vegetație forestieră, arboretul de 70 de ani cu răritură moderată și arboretul de 85 de ani nu s-au identificat diferențe semnificative ale valorilor medii pentru umiditatea din sol.

### **5.8. Analiza variabilității sezoniere a $FCO_2$ din sol**

Din punct de vedere temporal, variația  $FCO_2$  din sol a înregistrat o valoare maximă în luna iulie (07.VII) de  $9,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  în arboretul de 5 ani și o valoare minimă în luna aprilie (03.IV) de  $0,69 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , în arboretul de 25 de ani (**figura 5.8.1**). Totuși, pentru fiecare suprafață analizată au existat valori minime și maxime diferite, chiar dacă curbele de variație a fluxului de  $CO_2$  din sol au avut tendințe asemănătoare.

Plecând de la același raționament ca în cazul temperaturii și umidității din sol, s-a urmărit mai departe să se vadă care dintre mediile fluxurilor de  $CO_2$  din sol sunt diferite statistic pentru toate cele patru perioade de măsurători și pentru toate suprafețele de probă analizate.



**Figura 5.8.2.** Analiza variabilității și testarea semnificației FCO<sub>2</sub> din sol pentru suprafețele de probă  
*The variability analysis and the significance testing of soil carbon dioxide efflux for each plot*

Valorile medii ale FCO<sub>2</sub> din sol pentru cele patru perioade analizate, între suprafețele de probă au înregistrat diferențe semnificative ( $p < 0,05$ ) între diferite suprafețe de probă. Acest lucru nu s-a întâmplat ca fiecare suprafață să aibă diferențe semnificative cu restul ci doar parțial cu un grup sau doar cu o altă suprafață. Cum era de așteptat variațiile cele mai mari s-au înregistrat în perioada sezonului de vegetație, atunci când activitatea rădăcinilor cât și a heterotrofililor este cea mai ridicată. Pentru perioada aprilie-mai, diferențe semnificative s-au înregistrat între grupul de suprafețe ogor – arboret 5 ani și cele de vârstă 25-85 ani, între grupurile de pădure cu tăieri de regenerare și transformare spre grădinărit neexistând diferențe semnificative. Pentru perioada estivală se remarcă diferențe semnificative în interiorul grupului cu lucrări de rărituri, suprafața mator (RS) înregistrând o valoare a fluxului semnificativ mai scăzută decât cea din suprafețele parcurse cu rărituri de intensitate mai mare (RM și RF). În perioada de toamnă, aceste diferențe au existat în mod similar sezonului estival, între răritura mator și răriturile moderat-forte. Pentru aceeași perioadă, arboretul cel mai în vârstă a înregistrat diferențe semnificative cu toate celelalte suprafețe. Pentru măsurătorile efectuate în decembrie nu s-au înregistrat diferențe semnificative, doar arboretul cel mai în vârstă (180 de ani) înregistrând diferențe semnificative cu arboretele de

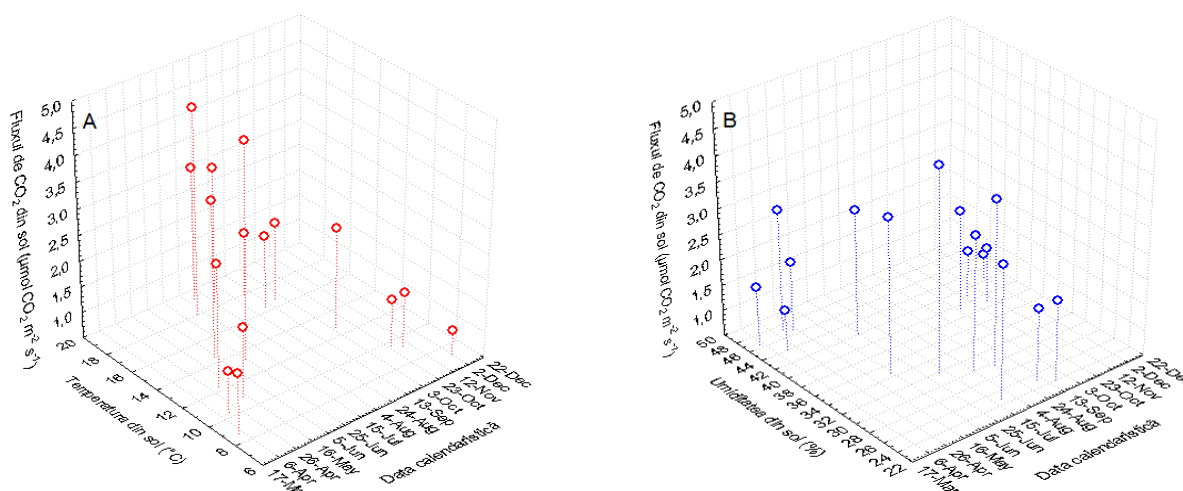


vârstă mijlocie și suprafața fără pădure. Acest fapt poate fi atribuit pe de o parte lipsei activității rădăcinilor cât și a unei activități limitate a heterotrofilor.

Cele mai mari variații ale fluxului pe toată perioada măsurătorilor s-a înregistrat în arboretul de 5 ani, urmat de suprafața fără pădure și arboretul cel mai bătrân. Așadar, se poate spune că acolo unde radiația solară a ajuns mai repede la sol și un posibil efect al perturbărilor solului a fost ridicat, variația  $FCO_2$  din sol a cunoscut cele mai mari variații.

### Discuții privind variabilitatea temporală a $FCO_2$ din sol

Ratele medii ale respirației solului pentru cele 16 serii de măsurători efectuate din cadrul suprafețelor de probă analizate, au înregistrat un minim în luna decembrie, de  $0,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  și un maxim în luna iulie de  $9,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , valori comparabile cu alte studii efectuate în păduri de fag din Europa (Epron *et al.* 1999, 2004, Soe și Buchmann 2005, Knohl *et al.* 2008).



**Figura .5.8.3.** Analiza temporală a variabilității temperaturii din sol (A) și a umidității din sol (B) în raport cu fluxul de  $CO_2$  din sol

*The temporal analysis for soil temperature and soil moisture variability by soil carbon dioxide efflux*

Variabilitatea sezonieră a  $FCO_2$  din sol a urmărit în general curbele temporale de variație ale temperaturii în sol, fapt relatat și de alte studii (Saiz *et al.*, 2006b, Cater și Ogrinc 2011). Totodată, se poate afirma că trendul fluxurilor de  $CO_2$  din sol este determinat mai mult sau mai puțin de factorii abiotici, temperatura și umiditatea din sol, ce cunosc la rândul lor o variabilitate temporală (**figura 5.8.3**). La valori scăzute ale umidității cât și valori ridicate ale temperaturii din sol,  $FCO_2$  cunoaște un declin (cazul situației din luna septembrie).

Așadar, ratele  $FCO_2$  din sol au înregistrat o creștere constantă până în luna iulie, urmărind ulterior un trend descendent spre finalul măsurătorilor efectuate în iarnă. Totuși, acolo unde conținutul de apă din sol a atins valorile cele mai scăzute, spre sfârșitul verii și începutul toamnei, valorile  $FCO_2$  din sol au cunoscut o scădere bruscă, chiar la  $0,95 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ m}^{-1}$ , caracteristic arboretului de 70 de ani din suprafața de probă martor. De altfel, se observă că luna septembrie cunoaște al doilea minim sezonier înregistrat al  $FCO_2$  din sol, fapt datorat unui

conținut scăzut de apă din sol cât și a temperaturii din sol, chiar dacă ultima variabilă a avut valori comparabile cu cele estivale.

Se poate afirma că, un regim hidric limitativ înregistrat în sezonul estival (cea mai scăzută cantitate de precipitații înregistrată în timpul măsurătorilor fiind în luna iulie), în condițiile unei temperaturi ridicate în sol (lunile iulie și august au înregistrat cele mai mari valori ale temperaturii atmosferice) va conduce la o inhibare a activității biologice din sol, efectul secetei devenind un factor inhibitor asupra metabolismului organismelor (Davidson *et al.*, 1998). Într-o pădure de fag din zona centrală a Germaniei, cu o diversitate mare a elementelor de arboret, Knohl *et al.*, (2008) au întreprins măsurători continue timp de trei ani în 10 suprafețe de probă, a câte 3-5 măsurători de respirație a solului pentru fiecare. Astfel din luna mai până în luna decembrie 2002 s-a înregistrat o valoare medie a  $FCO_2$  din sol, ce a variat de la  $0,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  în sezonul rece, la  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  în sezonul cald, pentru toate cele 36 de locații analizate. Într-un studiu pe 6 ani, efectuat pentru o pădure de fag de 30 de ani, din Hesse (Franța), Epron *et al.*, (2004) au determinat variabilitatea temporală a  $FCO_2$  din sol în 6 locații diferite, măsurând în total 72 de fluxuri pentru fiecare perioadă. Astfel, aceștia au găsit o variație mai mică a ratei respirației solului în primii trei ani ( $0,4 - 4,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) comparativ cu evaluările făcute în ultimii trei ani, unde valorile înregistrate au fost mai mari ( $1,7-8,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), deși variabilitatea sezonieră a avut același trend cu temperature și invers față de umiditatea din sol. Valorile determinate ale coeficienții de variație ale  $FCO_2$  au variat atât la nivelul suprafețelor de probă cât și pentru toată perioada de măsurători, fiind cuprinse între 34% și 56%. Studiul efectuat de Soe și Buchmann (2005) a confirmat valori similare ale coeficienților de variație cuprinse între 25% și 45%, mai ridicate în sezonul cald și mai scăzute în sezonul rece. Așadar, schimbările sezoniere în microclimatul solului prezintă un rol decisiv asupra variabilității temporale a fluxurilor de  $CO_2$  din sol (Raich și Tufekcioglu, 2000).

### **5.9. Modele de prognoză a $FCO_2$ din sol în raport cu factorii pedoclimatici**

Pentru a determina aportul factorilor abiotici (umiditatea și temperatura din sol) ce influențează variabilitatea temporală a  $FCO_2$  din sol, s-au aplicat o serie de modele de prognoză specifice emisiilor de dioxid de carbon din sol, ce au fost confirmate în alte studii (Epron *et al.*, 2004, Vica *et al.*, 2014).

Principalele modele de prognoză aplicate au fost următoarele:

1. Funcția exponențială, cu o variabilă (Fexp1);
2. Funcția exponențială cu două variabile (Fexp2);
3. Funcția Arrhenius cu o variabilă (Farh1);
4. Funcția Arrhenius cu două variabile (Farh2);
5. Funcția putere cu o variabilă (Fpow1);
6. Funcția putere cu două variabile (Fpow2);
7. Funcția liniară logaritmică (FILog);
8. Funcția quadratică logaritmică (FcLog).

Pentru fiecare model în parte s-a calculat valorile coeficienților specifici acestuia cât și elementele pentru testarea și stabilirea intervalului de încredere al tuturor coeficienților (eroarea standard, valorile testului t, probabilitățile de transgresiune, valorile limitelor inferioare și superioare). Totodată, pentru fiecare suprafață de probă s-a calculat coeficienții de determinare cu scopul analizei aportului fiecărui factor în parte asupra variabilității FCO<sub>2</sub> din sol.

**1. Funcția exponențială cu o singură variabilă.** Estimarea valorilor coeficienților modelului exponențial a datelor a folosit următoarea formulă:

$$R_s = a \times e^{b \times T_s} \quad (1)$$

unde:  $R_s$  – respirația solului ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $a, b$  – coeficienții modelului;  $e$  – baza logaritmului natural ( $=2,71$ );  $T_s$  – temperatura din sol ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Semnificația statistică a coeficienților pentru modelul exponențial este dovedită pentru 7 situații iar pentru 5 situații privesc doar coeficientul  $b$ . Totodată valorile coeficienților de determinare variază de la 0,12 (P2) la 0,64 (CR). Prin aplicarea modelului pentru toate suprafețele de probă, temperatura din sol a explicat circa 42% din variabilitatea FCO<sub>2</sub> din sol. Așadar, temperatura din sol, explică între 12-64 % din variația temporală a respirației solului, cel mai mult fiind întâlnit în cazul arboretului de 25 de ani.

**2. Funcția exponențială (cu două variabile).** Pentru estimarea valorilor coeficienților modelului exponențial cu dublă reprezentativitate s-a folosit următoarea formulă:

$$R_s = a \times U_s \times e^{b \times T_s} \quad (2)$$

unde:  $R_s$  – respirația solului ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $a, b$  – coeficienții modelului;  $e$  – baza logaritmului natural ( $=2,71$ );  $T_s$  – temperatura din sol ( $^{\circ}\text{C}$ );  $U_s$  – umiditatea din sol (%).

Semnificația statistică este dovedită pentru majoritatea situațiilor, doar două situații au avut o valoare nesemnificativă ( $p > 0,05$ ) și acolo pentru valorile coeficientului  $b$ . Valorile coeficientului de determinare prezintă o variabilitate ridicată ( $R^2 = 0,34 - 0,90$ ) fiind atribuit asemenea valori grupului de arborete bătrâne parcurse cu tăieri progresive. Grupul arboretelor parcurse cu rărituri

au înregistrat valori asemănătoare ale coeficientului de determinare ( $R^2 = 0,79-0,86$ ). Și modelul aplicat pentru suprafața fără pădure cunoaște o îmbunătățire, chiar dacă comparativ cu celelalte suprafețe coeficientul de determinare înregistrează una din cele mai mici valori (OV:  $R^2 = 0,61$ ), după arboretul de 15 ani (DG:  $R^2 = 0,50$ ) și cel parcurs cu tăieri progresive (P2:  $R^2 = 0,34$ ). Totuși, prin aplicarea modelului cu dublă reprezentativitate a datelor la nivelul tuturor suprafețelor de probă (cumulat) se cunoaște o slabă îmbunătățire în ceea ce privește explicarea variabilității respirației solului în raport cu acțiunea sezonieră a factorilor abiotici, comparativ cu modelul discutat anterior. Astfel, influența factorilor pedoclimatici explică la nivel cumulat doar 34% din variabilitatea temporală a fluxurilor de dioxid de carbon din sol, chiar dacă la nivelul fiecărei suprafețe de probă modelul aduce o îmbunătățire semnificativă comparativ cu modelul precedent.

3. **Funcția Arrhenius.** Una din relațiile frecvent utilizate pentru a cuantifica influența factorilor abiotici, în special temperatura din sol, asupra fluxurilor de dioxid de carbon din sol reprezintă funcția Arrhenius (Lloyd și Taylor, 1994), ce are următoarea formă:

$$R_s = a \times e^{-(b/T_s)} \quad (3)$$

unde:  $R_s$  – respirația solului ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $a$  – coeficientul modelului;  $e$  – baza logaritmului natural ( $=2,71$ );  $T_s$  – temperatura din sol ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Pentru majoritatea datelor, semnificația statistică este îndeplinită, cu excepția arboretului de 15 ani (DG), unde valoarea probabilității este 0,205, deci relația este una ne semnificativă. Pentru patru suprafețe de probă, valoarea semnificației nu este îndeplinită, în raport de valoarea coeficientului "b", iar pentru o suprafață de probă, după valoarea parametrului "a".

Gradul de validare al modelului Arrhenius confirmă o valoare a coeficientului de determinare ce variază de la 21% la 61%, valoarea minimă înregistrându-se în arboretul de 15 ani și valoarea maximă în arboretul de 85 de ani. Totodată prin aplicarea acestui model, valorile coeficienților de determinare ale arborele bătrâne au valori scăzute cu excepția celui mai în vârstă, a cărui valoare este aproximativ dublă decât al celorlalți ( $R^2=0,491$ ). Diferențe mici ale coeficienților de determinare s-au întâlnit în cazul arboretelor parcurse cu rărituri ( $R^2=0,425-0,523$ ). Tot în același sens, suprafața fără pădure nu diferă semnificativ cu suprafața cu pădure tânără de 5 ani, potrivit acestui model și comparând valorile coeficienților de determinare (OV:  $R^2=0,40$  și RN:  $R^2=0,426$ ). Totuși impactul temperaturii din sol asupra variabilității sezoniere a  $\text{FCO}_2$  din sol, potrivit acestui model, este mai evidentă la arborele tinere decât la arborele bătrâne cu câteva excepții. La nivel global influența temperaturii din sol asupra variabilității sezoniere a  $\text{FCO}_2$ , a explicat doar 33% din această variație temporală.

**4. Funcția Arrhenius (cu două variabile).** Modelul Arrhenius cu două variabile are următoarea formă:

$$R_s = a \times U_s \times e^{-b/T_s} \quad (4)$$

unde:  $R_s$  – respirația solului ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $a$ ,  $b$  – coeficienții modelului;  $e$  – baza logaritmului natural ( $=2,71$ );  $T_s$  – temperatura din sol ( $^{\circ}\text{C}$ );  $U_s$  – umiditatea din sol (%).

Valorile coeficienților de determinare variază între 0,51 și 0,87, ceea ce semnifică o foarte bună legătură între variabila independentă ( $T_s$ ) și variabila dependentă ( $R_s/U_s$ ). Pentru grupul suprafețelor de rărituri, două dintre ele (moderat și forte) prezintă valori similare ale coeficientului de determinare ( $R^2=0,75$ ), fapt evident și în cazul suprafeței fără pădure și a celei cu regenerare naturală ( $R^2=0,74$ ). Atunci când s-a luat în considerare valorile cumulate pentru toate suprafețele de probă, modelul cu dublă reprezentativitate explică doar 35% din variabilitatea temporală a  $\text{FCO}_2$ .

**5. Funcția putere (cu o singură variabilă).** Modelul aplicat are următoarea formă:

$$R_s = a \times T_s^b \quad (5)$$

unde:  $R_s$  – respirația solului ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $a$ ,  $b$  – coeficienții modelului;  $T_s$  – temperatura din sol ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Analizând aplicarea modelului putere atât la nivelul fiecărei suprafețe de probă cât și la nivel cumulat (global), se poate afirma că nici un model aplicat individual pentru fiecare suprafață de probă nu prezintă pe deplin o semnificație statistică diferită, majoritatea având doar parametrul  $b$  distinct semnificativ ( $p < 0,05$ ) iar în restul cazurilor nici unul nu îndeplinește condiția. Valorile coeficienților de determinare variază între 0,17 și 0,60, ceea ce putem fundamenta ipoteza unei variații mari a exprimării ratei  $\text{FCO}_2$  în funcție de temperatura din sol pentru acest model, lucru de altfel exprimat și la celelalte modele studiate. Arboretele de 25-85 de ani au înregistrat cele mai mari valori ale coeficienților de determinare ( $R^2=0,40-0,60$ ), iar arboretele parcurse cu tăieri progresive au avut cele mai reduse valori ( $R^2=0,19-0,27$ ). Între cele două arborete grădinarite, coeficienții de determinare calculați au diferențe semnificative, al doilea fiind dublu ca valoare comparativ cu primul. Prin cumularea tuturor suprafețelor, valoare temperaturii aduce un aport de 33% din totalul factorilor ce influențează variabilitatea temporală a respirației solului.

**6. Funcția putere (cu două variabile).** Modelul reprezentat de funcția putere cu dubla reprezentare a datelor are următoarea formă:

$$R_s = a \times U_s \times T_s^b \quad (6)$$

unde:  $R_s$  – respirația solului ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $a$ ,  $b$  – coeficienții modelului;  $T_s$  – temperatura din sol ( $^{\circ}\text{C}$ );  $U_s$  – umiditatea din sol (%).

Pentru analiza acestui model s-a constatat că semnificația statistică nu este îndeplinită decât parțial, pentru cazul valorilor parametrului  $b$ , în cazul celui alt parametru, valorile probabilității

de transgresiune fiind mai mare de 0,05. Valorile coeficientului de determinare variază între 0,42 și 0,88, valori ce au fost obținute pentru arboretele parcurse cu tăieri progresive. Pentru analiza globală a datelor, temperatura și umiditatea din sol explică doar 33% din variabilitatea temporală a ratei respirației din sol.

**7. Funcția logaritmică liniară.** Modelul adoptat urmărește integrarea atât a temperaturii cât și a umidității din sol după o funcție logaritmică de tip liniar, sub forma:

$$\log R_s = a + b \times T_s + c \times U_s \quad (7)$$

unde:  $R_s$  – respirația solului ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $a, b, c$ , – coeficienții modelului;  $T_s$  – temperatura din sol ( $^{\circ}\text{C}$ );  $U_s$  – umiditatea din sol (%).

În urma calculului celor trei parametri ce intră în componența modelului logaritmic, doar pentru patru suprafețe de probă semnificația statistică este îndeplinită în totalitate ( $p < 0,05$ ), pentru șase suprafețe doar parțial, iar pentru două suprafețe nu este îndeplinită condiția de semnificație statistică. Coeficienții de determinare calculați pentru toate suprafețele de probă variază între 0,15 și 0,82 ambele valori extreme fiind determinate în arboretele din clasa I și IV de vârstă. Pentru suprafața fără pădure, coeficientul de determinare se apropie de valoarea maximă înregistrată la nivelul suprafețelor de probă ( $R^2 = 0,77$ ). Pentru arboretele parcurse cu tăieri progresive, temperatura și umiditatea din sol explică 19%, respectiv 62% din variabilitatea temporală a fluxurilor de carbon din sol. În urma calculului coeficientului de determinare pentru datele cumulate ale suprafețelor de probă s-a constatat că temperatura și umiditatea din sol explică circa 35% din variabilitatea  $\text{FCO}_2$  din sol.

**8. Funcția logaritmică quadratică.** Relația ce definește funcția logaritmică de tip quadratic este următoarea:

$$\log R_s = a + b \times T_s + c \times U_s + d \times U_s^2 \quad (8)$$

unde:  $R_s$  – respirația solului ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $a, b, c$ , – coeficienții modelului;  $T_s$  – temperatura din sol ( $^{\circ}\text{C}$ );  $U_s$  – umiditatea din sol (%).

Prin analiza datelor s-a găsit că pentru calculul modelului logaritmic quadratic s-a determinat valorile a patru parametri ( $a, b, c, d$ ) care pentru majoritatea cazurilor (circa 70%) semnificația statistică este îndeplinită ( $p < 0,05$ ). Valorile coeficienților de determinare variază între 0,42 și 0,87. Și aici, ca și în cazul modelului logaritmic liniar, temperatura și umiditatea din sol a explicat cel mai bine variabilitatea temporală a fluxurilor de carbon din sol la un arboret de 85 de ani, chiar dacă ponderea minimă a celor doi factori pentru modelul aplicat a fost dovedită tot în arborete bătrâne (P2:  $R^2 = 0,42$  și G1:  $R^2 = 0,45$ ). Pentru analiza tuturor datelor modelul logaritmic quadratic a găsit că variabilele independente temperatura și umiditatea din sol au o pondere de aproape 40% din totalul factorilor ce influențează ratele sezoniere ale respirației solului.

### Discuții privind modelele aplicate

Folosind temperatura și umiditatea din sol ca variabile independente, prin construirea modelelor a fost evaluată abilitatea acestora, în prognoza variabilității FCO<sub>2</sub> din sol. Toate modelele aplicate, ce descriu variabilitatea temporală a respirației solului în raport cu factorii pedoclimatici, au arătat contribuția mai mare sau mai mică a fiecărui factor pedoclimatic în parte și totodată o variabilitate ridicată în ceea ce privește influențele sezoniere ale acestora asupra emisiilor de dioxid de carbon din sol la nivelul suprafețelor de probă (**tabelul 5.9.9**). Atunci când s-a utilizat în model datele pentru toate suprafețele, valorile coeficienților de determinare au avut valori mici și similare, ce poate fi considerat că particularitățile specifice locale fiecărei suprafețe de probă pot influența în mod diferit ratele de carbon din sol. Dependența fluxurilor de dioxid de carbon din sol față de temperatura din sol a fost frecvent descrisă în diferite studii (Epron et al., 1999, 2004, Soe și Buchmann, 2000, Vica et al., 2012), cel mai mult utilizându-se funcția exponențială propusă de Lloyd și Taylor (1994). În plus, a fost raportat că funcția exponențială va duce sistematic la o subestimare a fluxurilor de carbon la temperaturi mici și o supraestimare a acestuia la temperaturi mari (Epron et al., 2004).

**Tabelul 5.9.9.** Valorile coeficienților de determinare specifici modelului adoptat  
*The determination coefficients of each model*

SP/Model	F <sub>expl</sub>	F <sub>exp2</sub>	F <sub>arh1</sub>	F <sub>arh2</sub>	F <sub>pow1</sub>	F <sub>pow2</sub>	F <sub>lLog</sub>	F <sub>cLog</sub>
OV	0,262	0,610	0,401	0,738	0,341	0,691	0,766	0,767
RN	0,366	0,695	0,426	0,741	0,398	0,727	0,553	0,744
DG	0,125	0,504	<b>0,205</b>	0,583	<b>0,166</b>	0,551	<b>0,153</b>	0,527
CR	<b>0,644</b>	0,763	0,535	0,727	<b>0,599</b>	0,761	0,672	0,841
RS	0,404	0,859	0,452	0,867	0,432	0,873	0,538	0,836
RM	0,379	0,803	0,426	0,756	0,406	0,785	0,736	0,814
RF	0,494	0,787	0,523	0,754	0,513	0,779	0,545	0,633
IG	0,566	0,861	<b>0,615</b>	<b>0,872</b>	0,596	0,875	<b>0,819</b>	<b>0,870</b>
P1	0,255	<b>0,898</b>	0,272	0,849	0,266	<b>0,882</b>	0,623	0,751
P2	<b>0,119</b>	<b>0,337</b>	0,265	<b>0,506</b>	0,191	<b>0,427</b>	0,190	<b>0,420</b>
G1	0,215	0,651	0,221	0,601	0,221	0,635	0,355	0,453
G2	0,447	0,780	0,491	0,806	0,473	0,805	0,556	0,815
Cumulat	0,327	0,335	0,333	0,347	0,327	0,326	0,349	0,392

Totodată, s-a constatat că atunci când s-a introdus în model și umiditatea din sol, modelul a adus un răspuns mai bun în explicarea variabilității fluxurilor. În acest sens, Knohl *et al.* (2008) și Davidson *et al.* (1998) au arătat că un model în care este inclusă doar temperatura explică mai puțin variația respirației solului decât un model, la care este inclusă și umiditatea din sol. Aplicarea modelului regresiei logaritmice liniare și cuadratică Vicca *et al.* (2014) a dus la o îmbunătățire substanțială a explicației privind variabilitatea temporală a respirației solului în raport cu cei doi factori analizați.

## 5.10. Analiza factorilor implicați și contribuția lor asupra FCO<sub>2</sub>

### 5.10.1. Analiza corelației Pearson

Principalii factori analizați pentru a stabili nivelul corelațiilor între FCO<sub>2</sub> din sol și aceștia sunt: temperatura din sol (T<sub>s</sub>), umiditatea din sol (U<sub>s</sub>), indicele suprafeței plantei (PAI) vârsta arboretelor (v), numărul de arbori (N), suprafața de bază a arborilor (G), carbonul din biomasa arborilor (Cb), carbonul din orizontul de litieră (Cl), carbonul organic din sol la 20 cm adâncime (C<sub>20</sub>) și azotul total din sol la 20 cm adâncime (N<sub>20</sub>).

**Tabelul 5.10.1.1.** Analiza corelației Pearson a FCO<sub>2</sub> din sol cu factorii determinați  
*The Pearson correlation of the soil FCO<sub>2</sub> with determined factors*

Perioada	T <sub>s</sub>	U <sub>s</sub>	PAI	v	N	G	Cb	Cl	C <sub>20</sub>	N <sub>20</sub>
apr.-mai	<b>0,375</b>	<b>-0,325</b>	-0,267	<b>0,543</b>	-0,211	0,216	0,264	<b>0,454</b>	<b>-0,324</b>	<b>-0,358</b>
iun.- aug.	0,110	-0,011	<b>-0,283</b>	<b>0,480</b>	<b>-0,255</b>	0,129	<b>0,264</b>	<b>0,313</b>	<b>-0,422</b>	<b>-0,435</b>
sept.-noi.	-0,081	0,052	<b>-0,355</b>	<b>0,514</b>	-0,219	0,169	<b>0,337</b>	<b>0,301</b>	<b>-0,405</b>	<b>-0,435</b>
dec.	0,303	-0,301	-0,413	<b>0,784</b>	-0,182	0,305	0,435	0,591	-0,519	-0,621
sezon	<b>0,502</b>	<b>-0,232</b>	<b>-0,222</b>	<b>0,377</b>	<b>-0,172</b>	0,122	<b>0,212</b>	<b>0,259</b>	<b>-0,292</b>	<b>-0,310</b>

Pentru această analiză s-a luat în considerare valorile factorilor determinați și s-a aplicat analiza Pearson pentru a surprinde nivelul temporal al corelațiilor acestora cu FCO<sub>2</sub> din sol, determinându-se valorile coeficienților de corelație dar și nivelul de semnificație (**tabelul 5.10.1.1**). Analiza a fost efectuată pentru fiecare sezon în parte cât și pentru întreaga perioadă a măsurătorilor FCO<sub>2</sub> din sol. S-au analizat suprafețele de probă pentru care au fost determinați toți parametrii. Valorile bolduite arată nivelul semnificativ al coeficienților de corelație ( $p < 0,05$ ). Astfel, pentru perioada de primăvară, FCO<sub>2</sub> din sol este influențat semnificativ pozitiv de temperatura din sol, vârsta arboretelor și carbonul din litieră iar semnificativ negativ de umiditatea din sol, carbonul organic din sol și azotul total determinat în primii 20 cm adâncime, pe profilul solului. Pentru ceilalți parametri analizați relația cu respirația solului a fost una ne semnificativă ( $p > 0,05$ ). Pentru perioada de vară, relația semnificativă a factorilor determinați față de FCO<sub>2</sub> prezintă o situație diferită cu perioada de primăvară, factorii pedoclimatici neavând o legătură semnificativă cu fluxurile de carbon din sol. Contrar acestui rezultat, elementele de caracterizare ale arboretelor precum vârsta, numărul de arbori și carbonul din biomasa acestora prezintă o relație semnificativă cu ratele respirației solului determinate în această perioadă. Doar carbonul organic și azotul din sol, prezintă aceeași relație semnificativă cu respirația solului, lucru de altfel păstrat și în perioada de toamnă a măsurătorilor de fluxuri. În același sens, factori pedoclimatici nu înregistrează o relație semnificativă cu emisiile de carbon atât pentru perioada de toamnă cât și pentru măsurătorile efectuate în decembrie. Doar vârsta arboretelor înregistrează o corelație pozitivă pentru ultimile perioade din an, sublinind că efectul acesteia are un rol important în cuantificarea emisiilor anuale de carbon din sol și indirect aportul majoritar al respirației autotrofe din totalul respirației solului.



Pentru întreaga perioadă de măsurători efectuate, valorile coeficienților de corelație al factorilor analizați descriu o relație semnificativă în raport cu FCO<sub>2</sub>, cu excepția suprafeței de bază. Deasemenea, influența climatică se pare că are un rolul hotărâtor și semnificativ asupra fluxurilor, mai ales datorită faptului că celelalte variabile, precum carbonul organic și azotul total din sol au înregistrat valori negative ale coeficienților de corelație. De asemenea, coeficientul de corelație între indicele suprafeței foliare, ca măsură indirectă a productivității pădurii, și respirația solului vin să întărească aceste precizări. Totuși, valorile pozitive ale coeficienților de corelație între vârsta arboretelor și respirația solului, indică o ușoară creștere a ratelor acesteia o dată cu înaintarea în vârstă a pădurii, sugerând că respirația autotrofă poate avea un rol predominant în acest sens.

### 5.10.2. Alegerea modelului optim și aplicarea AIC

Pentru a vedea influența cât și contribuția factorilor abiotici și biotic determinați asupra fluxului de dioxid de carbon din sol, s-a recurs la modelul logaritmic liniar propus de Vicca *et al.* (2012). Astfel, pe lângă factorii pedoclimatici (temperatura din sol - Ts și umiditatea din sol - Us) s-a introdus în model și ceilalți factori precum: indicele suprafeței plantei (PAI), vârsta arboretelor (v), numărul de arbori (N), suprafața de bază a arborilor (G), carbonul din biomasa arborilor (Cb), carbonul din orizontul de litieră (Cl), carbonul din sol la 20 cm (Cs), azotul din sol la 20 cm (Ns) cu scopul de a surprinde aportul fiecărui factor în parte asupra FCO<sub>2</sub> din sol. De asemenea, s-a considerat necesar ca interacțiunea dintre Ts și Us sa fie tot o variabilă independentă. Criteriul informațional Akaike a fost aplicat pentru un model de regresie liniar cu 10 variabile, prin aportul cumulat de variabile independente determinate în analiză. Adăugarea unei noi variabile explicative, este considerată eficientă dacă va determina o reducere a valorii criteriului informațional menționat anterior, adică dacă  $AIC_{n+1} < AIC_n$ .

Modelul optim, descris de *regresia logaritmică de tip liniar* a avut următoarea formă:

$$\log R_s = a + a_1 \times T_s + a_2 \times U_s + a_3 \times T_s \times U_s + a_4 \times v + a_5 \times N + a_6 \times G + a_7 \times PAI + a_8 \times Ca + a_9 \times Cl + a_{10} \times Cs$$

**Tabelul 5.10.2.1.** Parametrii caracteristici pentru modelul optim  
*The specific parameters for the optimal model*

Factori analizați	Coeficienții estimați	Eroarea standard	t-value; df-149	p	R <sup>2</sup> parțial	
intercept	a0	-0,529844	0,341640	-1,55089	0,123050	-
Ts	a1	-0,014702	0,008389	-1,75265	0,081718	0,282
Us	a2	-0,023015	0,004495	-5,12078	0,000001	0,004
TsxUs	a3	0,002334	0,000316	7,39355	0,000000	0,094
v	a4	0,012221	0,001501	8,14209	0,000000	0,181
N	a5	-0,000047	0,000011	-4,15725	0,000054	0,034
G	a6	0,061317	0,010848	5,65225	0,000000	0,007
PAI	a7	0,455869	0,101371	4,49704	0,000014	0,001
Ca	a8	-0,007961	0,001642	-4,84841	0,000003	0,001
Cl	a9	-0,348072	0,050383	-6,90857	0,000000	0,074
Cs	a10	-0,004671	0,001180	-3,95811	0,000117	0,028

În urma alegerii celui mai bun model (optim), respectiv cea mai mică valoare a criteriului informațional Akaike ( $AIC = -181,31$ ), s-au determinat ulterior valorile coeficienților specifici fiecărui factor luat în analiză în construirea modelului, erorile standard, valorile testului t, valorile probabilităților de transgresiune, cât și valorile coeficienților de determinare parțiali.

Prin construirea modelului optim, parametrii ce construiesc modelul de regresie logaritmică de tip liniar explică aproximativ 71% din variabilitatea temporală a respirației solului ( $R^2 = 0,706$ ). Influența climatică, a adus cel mai mare aport la explicarea variabilității sezoniere a  $FCO_2$  din sol de circa 38%, tot aici fiind luat în considerare și aportul interacțiunii celor doi factori. Totuși, prin analiza corelație, se observă o influență foarte slabă a contribuției umidității din sol asupra variabilității sezoniere a  $FCO_2$  din sol,  $R^2$  parțial = 0,004, comparativ cu efectul mixt al factorilor abiotici pedoclimatic,  $R^2$  parțial = 0,094.

Efectul vârstei a adus modelului optim cea mai ridicată valoare în exprimarea contribuției asupra ratelor fluxurilor, fiind de circa 18%, indicele suprafeței plantei, numărul arborilor și carbonul din biomasă doar 4%. De asemenea, carbonul din literă și carbonul organic din sol a adus un aport cumulat de 10%, contribuția litierii având ponderea majoritară în exprimarea variabilității temporale a respirației solului.

### 5.11. Cantitatea medie anuală de dioxid de carbon emisă din sol

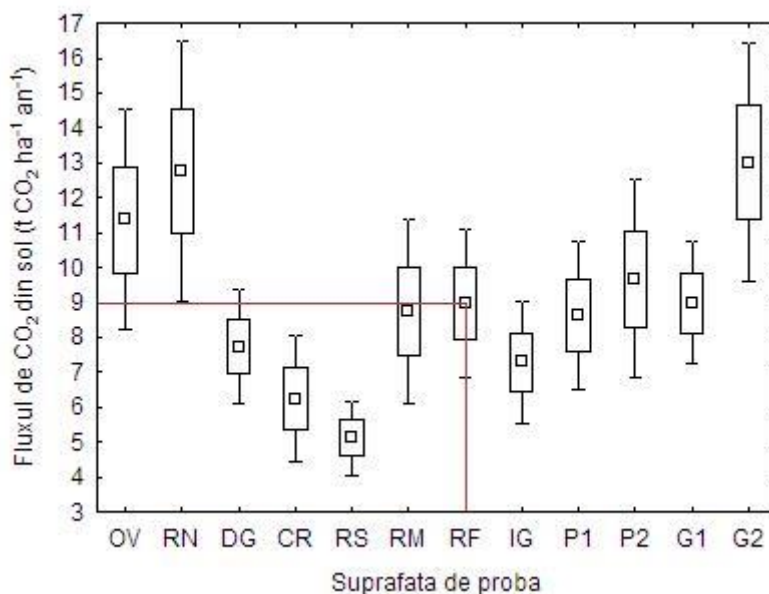
Determinarea cantității medii anuale a carbonului emis din sol reprezintă media valorilor fluxurilor de  $CO_2$  din sol la nivelul suprafețelor de probă analizate. Întrucât măsurătorile au fost efectuate în perioada 1 aprilie – 2 decembrie 2015, pentru restul perioadei din an, am recurs la obținerea unor valori ajustate, prin crearea unui model specific. Astfel, pentru restul perioadei când nu s-au efectuat măsurători în teren, valorile fluxurilor au fost obținute artificial apelând la modelul climatic de tip quadratic logaritmic. Prin corelarea valorilor temperaturii și umidității din sol măsurate în timpul anului cu valorile acelorași parametrii obținuți de la senzorii cu înregistrare continuă din suprafața LTER Stâlpeni s-a dorit să se observe nivelul relației între aceștia. Întrucât valorile coeficienților de determinare obținuți au fost mari (pentru temperatura din sol  $R^2=0,89$ ;  $p=0,00$  iar pentru umiditatea din sol  $R^2=0,94$ ;  $p=0,00$ ) deci există o legătură semnificativă între valori măsurate și cele determinate de senzori, mai departe s-a folosit modelul pedoclimatic pentru a estima valorile dioxidului de carbon emis din sol.

**Tabelul 5.11.1.** Cantitatea medie de  $CO_2$  emisă din sol determinată în afara perioadei de măsurători  
*The mean quantity of carbon dioxide emission from soil determined outside the measurements period*

Data	Fluxul $CO_2$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Data	Fluxul $CO_2$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Data	Fluxul $CO_2$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Data	Fluxul $CO_2$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
1 ian.	1,00	1 febr.	1,20	1 mar.	1,29	15 dec.	1,08
15 ian.	1,14	15 febr.	1,15	15 mar.	1,31	30 dec.	1,09

Valorile medii globale calculate pentru  $FCO_2$  din sol au fost efectuate pentru perioada lipsită de determinări (**tabelul 5.11.1.**) din primăvară și iarnă, determinându-se câte două valori pentru

fiecare lună (decembrie, ianuarie, februarie și martie). Astfel, valoare medie a  $FCO_2$  din sol, pentru care s-au luat în considerare toate suprafețele de probă, a fost de  $2,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , care prin transformare a rezultat o cantitate anuală de carbon emisă din sol de  $9,0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ . Valoarea medie a fost sugestiv prezentată în **figura 5.11.2.** cu linie roșie, speculând ideea că, această valoare corespunde unui arboret de 70 de ani, unde a existat intervenție comparativ cu suprafața martor. Cea mai mare valoare anuală, emisă de  $CO_2$  din sol, a fost determinată în suprafața G2, fiind de  $13,0 \text{ t C an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  iar cea mai mică valoare a fost determinată în suprafața RS, fiind de  $5,1 \text{ t C an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . O posibilă explicație a înregistrării unei cantități de carbon emisă din sol, mai mare în arboretele unde s-au efectuat intervenții recente, poate fi plauzibilă. Chiar dacă radiația solară influențează variabilitatea factorilor pedoclimatici (temperatura și umiditatea din sol), suprafața de probă cu regenerare naturală a cunoscut o creștere a emisiilor anuale de carbon cu circa  $1,4 \text{ t C an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , comparativ cu suprafața fără vegetație forestieră.



**Figura 5.11.2.** Cantitatea medie anuală a  $FCO_2$  emis din sol la nivelul fiecărei suprafețe de probă. Linia reprezintă valoarea medie anuală a  $FCO_2$  emisă pentru toate suprafețele. Box-ploturile reprezintă valorile medii, erorile standard și intervalele de încredere specifice fiecărei suprafețe.

*The mean quantity of  $FCO_2$  emission from soil for each plot. Red line represent the mean annual value of  $FCO_2$  emission for all the plots. Box-plots represent the mean value, standard error and confidence interval for each plot.*

Totodată, un posibil efect produs de calamitățile naturale (vânt), coroborat cu evacuarea materialului lemons, ce s-a înregistrat în suprafața G2, pot reprezenta factori care au contribuit la o creștere a emisiei de carbon cu circa  $2,4 \text{ t C an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , comparativ cu suprafața fără pădure, unde estimările înregistrate sunt datorate preponderent de influența factorilor pedoclimatici.

De asemenea, în cazul grupului de rărituri, s-a confirmat că aportul intervenției a adus o creștere a fluxului anual, cu circa  $3,4 \text{ t C an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , comparativ cu suprafața martor (fără intervenție). Analizând grupul de arborete 85-150 de ani, emisia de carbon a crescut implicit cu

vârsta cu circa  $2,4 \text{ t C an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , chiar dacă pentru grupul de 15-70 ani, emisia de carbon a scăzut cu vârsta, cu circa  $1,6 \text{ t C an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , aici luându-se în considerare doar suprafața martor (RS).

## Discuții

Diferențele sezoniere înregistrate de temperatura și umiditatea din sol explică cel mai bine variabilitatea temporală a  $\text{FCO}_2$  din sol, urmați în secundar de factorii biotici ce caracterizează în special caracteristicile structurale ale pădurii (Soe și Buchmann, 2005, Bahn *et al.*, 2009). Variabilitatea temporală a  $\text{FCO}_2$  din sol a cunoscut un trend sezonier datorat în cea mai mare parte factorilor abiotici, temperatura și umiditatea din sol, fapt considerat și de alte studii (Epron *et al.*, 2004, Cater și Ogrinc, 2011). Totuși, determinările efectuate pentru fiecare perioadă din an, invocă factori mai mult sau mai puțini diferiți ce influențează ratele  $\text{FCO}_2$  din sol, afirmație justificată atât de condițiile pedoclimatice cât și de variabilitatea sezonieră a activității rizosferice și a populațiilor de heterotrofi existente în decursul anului.

Prin determinările efectuate, se poate preciza că, valorile stocului de  $\text{CO}_2$  emis din sol au valori asemănătoare cu valorile consemnate de alte studii, ce au fost efectuate în arborete de foioase, în special păduri de fag, din Europa. Astfel, într-o pădure bătrână de foioase din centrul Germaniei, de-a lungul a trei ani de studii și prin efectuarea unor tehnici combinate de măsurători ale  $\text{FCO}_2$ , Knohl *et al.*, (2008) au găsit diferențe semnificative între suprafețele de probă analizate pentru carbonul anual emis din sol, de la  $7,3 \text{ t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  la  $12,5 \text{ t C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ . Într-o pădure de fag de 30 de ani, Epron *et al.*, (1999) au găsit în primul an de măsurători o rată anuală a  $\text{FCO}_2$  de  $5,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ , iar în al doilea an de măsurători, aceasta a crescut cu 15 %, ajungând la  $6,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ . De altfel, alt studiu, al același autori (Epron *et al.*, 2004), confirmă variabilitate interanuală a ratei  $\text{FCO}_2$  din sol, datorată în special variabilității temporale a principalilor factori abiotici. Într-o pădure de fag de 45 de ani, Ngao *et al.*, (2012) pe o perioadă de doi ani de măsurători a găsit o rată a  $\text{FCO}_2$  ce a variat între  $5,1$  și  $7,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ . Granier *et al.* (2008), studiind  $\text{FCO}_2$  din sol pe o perioadă de 10 ani (1996-2007) într-o pădure de fag de vârstă mijlocie, au găsit o variabilitate mare a ratei acestuia, între  $7,9$  și  $12,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ .

## 5.12. Analiza influenței principalilor factori asupra $\text{FCO}_2$

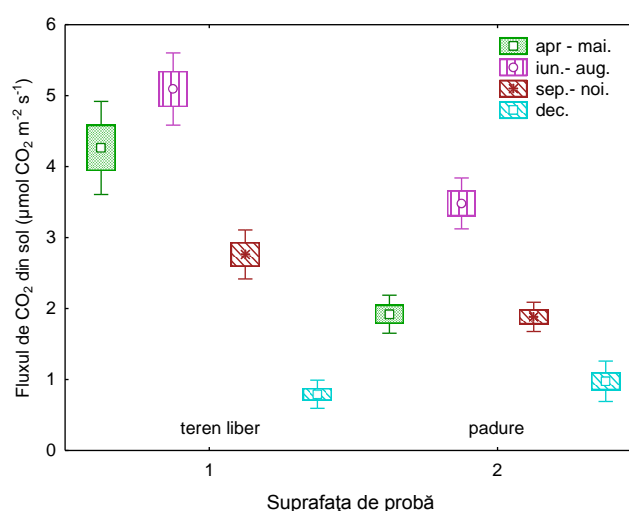
### 5.12.1. Influența temperaturii și umidității din sol

Atunci când în model s-a introdus doar temperatura din sol, atunci aceasta a putut fi folosită ca un predictor pentru estimarea variabilității sezoniere a  $\text{FCO}_2$ . Folosind modelul exponențial pentru două suprafețe cu și fără pădure s-a putut constata că, temperatura din sol pentru cazul suprafeței OV explică doar 26% din variabilitatea  $\text{FCO}_2$  comparativ cu suprafața IG, la care temperatura din sol a contribuit cu aproape 57% din variabilitatea temporală a fluxurilor de carbon. Deci se poate afirma că,  $\text{FCO}_2$  crește exponențial cu temperatura din sol, atât timp cât nu

există un stres hidric la nivelul solului. Și alte studii au arătat ca rolul dominant al temperaturii ce controlează  $FCO_2$  este datorat în mod particular lipsei stresului hidric (Hanson *et al.* 2000, Yuste *et al.* 2003). Factorul abiotic, temperatura, explică cel mai mult variabilitatea sezonieră a  $FCO_2$  cu excepția perioadelor de secetă (Reichstein *et al.*, 2003 și Bahn *et al.*, 2009). Astfel,  $FCO_2$  din sol anual poate fi estimat ca o funcție a răspunsului temperaturii din sol. Folosind același model exponențial, dar înlocuind temperatura cu umiditatea din sol, s-a putut constata că acest lucru nu s-a întâlnit în cazul variabilei dependente umiditatea din sol, care nu a putut explica această variabilitate sezonieră decât în perioada de secetă (august-septembrie). Această relație a fost exemplificată prin compararea unei suprafețe fără pădure cu un arboret de vârstă înaintată pentru perioada august-septembrie. Atunci când s-a folosit modelul logaritmico-cuadratic, în care a existat atât variabila independentă temperatura din sol cât și variabila independentă umiditatea din sol, variabilitatea fluxului a fost mult mai bine explicată, chiar dacă au existat diferențe în ceea ce privește răspunsul celor doi factori asupra  $FCO_2$  din sol, în raport cu suprafețele de probă analizate. Și alte studii (Janssens *et al.*, 2003, Knohl *et al.*, 2008) confirmă necesitatea folosirii în modelul respirației atât a temperaturii cât și a umidității din sol, chiar în ecosistemele forestiere unde efectul secetei este, în general, doar unul ocazional.

### 5.12.2. Influența vegetației forestiere

Analiza privind influența vegetației asupra  $FCO_2$  din sol s-a efectuat prin compararea a două suprafețe de probă din cadrul experimentului, o pădure de 85 de ani (IG) și altă suprafață fără pădure (OV).



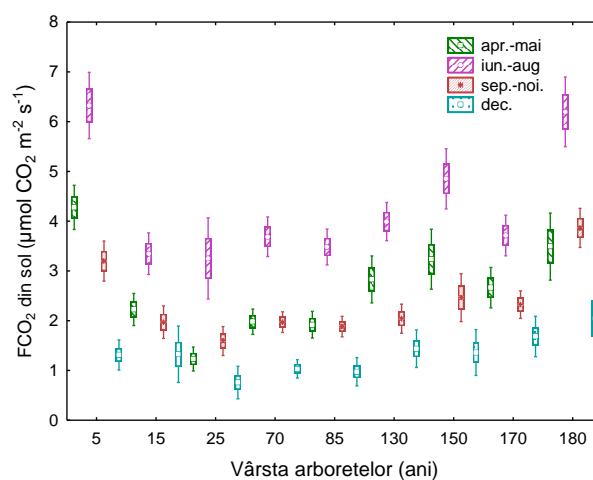
**Figura 5.12.2.1.** Valorile  $FCO_2$  din sol la nivel sezonier pentru suprafața din teren liber și suprafața cu pădure. (Mediile, erorile standard și intervalul de încredere)  
*The values of soil  $FCO_2$  at seasonal level for plot without forest and plot with forest (means, standard errors and confidence intervals)*

Variația  $FCO_2$  sezonier din sol (**figura 5.12.2.1**) prezintă aceeași tendință atât pentru suprafața fără pădure (OV) cât și pentru suprafața cu pădure (IG). Valoarea maximă înregistrată

a fost de  $5,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  în perioada estivală iar valoarea minimă s-a înregistrat în iarnă, fiind de  $0,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , ambele valori medii înregistrate în suprafața fără pădure. Prin testarea diferențelor dintre mediile fluxului de carbon între cele două suprafețe (ANOVA, test Tukey), pentru fiecare perioadă din an în parte, a rezultat că rata  $\text{FCO}_2$  este semnificativ mai mare în OV comparativ cu IG pe toată durata experimentului ( $p=0,000$ ) cu excepția măsurătorilor efectuate în iarnă, unde nu au fost găsite diferențe semnificative între suprafețe ( $p=0,266$ ). Valoarea medie a  $\text{FCO}_2$  din sol înregistrată în suprafața fără pădure a fost cu 19,3% mai mare decât cea înregistrată în suprafața cu pădure. Similar, Raich și Tufekciogul (2000) au găsit că  $\text{FCO}_2$  din sol au fost mai mari într-o pășune decât în pădure, diferențele observate fiind în medie mai mari cu 20% în suprafețele fără vegetație, sugerând totodată că o conversie a pădurii în pășune va stimula emisia de  $\text{CO}_2$  din sol în atmosferă.

### 5.12.3. Influența vârstei arboretelor

Pentru a vedea în ce măsură vârsta poate să influențeze variabilitatea  $\text{FCO}_2$  din sol s-au luat în analiză suprafețele de probă cu pădure, cu vârsta cuprinsă între 5 și 180 ani. Fluxul de  $\text{CO}_2$  din sol prezintă un trend similar în ceea ce privește variabilitatea sa sezonieră (**figura 5.12.3.1.**), indiferent de vârsta arboretului studiat.



**Figura 5.12.3.1.** Variația sezonieră a  $\text{FCO}_2$  din sol după vârsta arboretului (media, eroarea standard și intervalul de încredere)

*Seasonal variability of soil  $\text{FCO}_2$  by stand age (means, standards error and confidence intervals)*

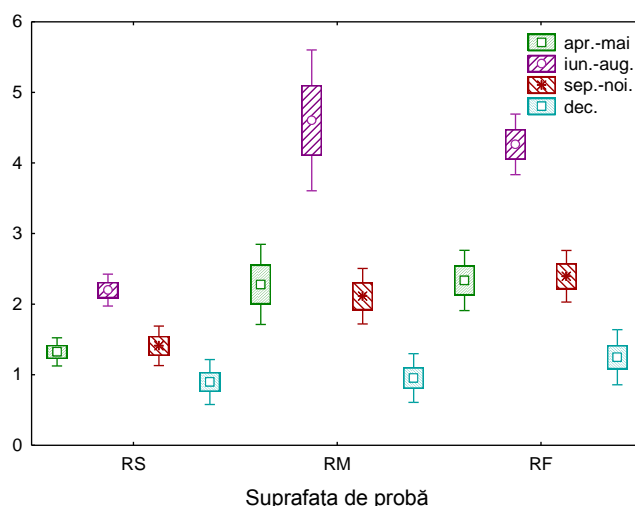
Astfel, cel mai mare flux a fost înregistrat în vară și cel mai scăzut în iarnă. În general, valorile înregistrate primăvara au fost mai mari decât cele înregistrate toamna doar cu puține excepții (arboretul de 25 de ani și arboretul de 180 de ani, în care a avut loc o doborâtură în a doua parte a anului). Valoarea maximă a fluxului a fost înregistrată într-un arboret de 5 ani iar valoarea minimă într-un arboret de 25 ani. Totodată, valori ridicate ale  $\text{FCO}_2$  din sol s-au înregistrat și într-un arboret de 180 de ani, valori justificate de prezența unei doborâturi în a doua parte a anului dar și unei consistențe mai reduse (0,5) ce a contribuit la modificări asupra

microclimatului din sol. Aceștia pot fi considerați posibili și determinanți factori, ce au contribuit semnificativ la obținerea acestor valori.

Cercetări similare ce au urmărit cuantificarea influenței vârstei arboretului asupra  $\text{FCO}_2$  din sol au avut rezultate diferite. Astfel, Saiz *et al.*, (2006a) în urma analizei a patru arborete de vârstă diferită (10, 15, 31 și 47 ani), a constatat o scădere a  $\text{FCO}_2$  o dată cu vârsta arboretului, considerând determinanți în obținerea acestui rezultat biomasa rădăcinilor fine și o cantitate mai mare de materie organică. Contrar acestui studiu, Irvine și Law (2002) au găsit o valoare mai mare a  $\text{FCO}_2$  într-o pădure matură comparativ cu o regenerare naturală, considerând că factorul principal ce a contribuit la diferențe semnificative în favoarea arboretului de vârstă înaintată a fost valoarea dublă a productivității. Așadar, se poate afirma că vârsta arboretului poate influența circuitul carbonului și implicit  $\text{FCO}_2$  din sol, mai ales prin reacțiile datorate adaptabilității indivizilor la condițiile microclimatice existente la un moment dat.

#### 5.12.4. Efectul intensității răriturilor

Pentru a studia efectul intensității răriturilor asupra  $\text{FCO}_2$ , au fost instalate două suprafețe de probă parcurse cu rărituri pe intensități diferite (moderat și forte) și o suprafață martor, pentru care s-a intervenit doar prin lucrări de igienă, pe care am considerat-o răritură slabă. Nu au fost găsite diferențe semnificative între mediile temperaturilor din sol (ANOVA;  $p > 0,05$ ) între cele trei suprafețe parcurse cu rărituri, lucru ce poate fi explicat de amplasamentul apropiat al blocurilor experimentale. Contrar acestor rezultate, valorile umidității medii din sol au variat destul de mult, lucru probabil determinat de capacitatea de retenție diferită a coronamentului dar și de grosimea stratului de litieră, ce a modificat regimul hidric local din sol (Târziu, 2006).



**Figura 5.12.4.1.** Efectul intensității răriturii asupra  $\text{FCO}_2$  din sol pentru fiecare sezon în parte (Mediile, erorile standard și intervalul de încredere).

*The effect of thinning on soil efflux for each season (the means, standards errors and confidence intervals)*

Dinamica sezonieră a respirației solului pentru cele trei suprafețe de probă a confirmat un trend specific, cu o valoare minimă în prima parte a primăverii și cu o valoare maximă în vară.

Astfel, valoarea minimă înregistrată a fost de  $0,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  în luna aprilie în suprafața RS și valoarea maximă de  $6,2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  în luna iulie în suprafața RM. Prin aplicarea testului neparametric Kruskal- Wallis pentru toate cele patru perioade de măsurători, s-a constatat că există diferențe semnificative între valorile medii ale fluxurilor între suprafețele de probă analizate pentru perioade diferite din an (**figura 5.12.4**). De asemenea, s-a constatat că valoarea maximă a  $\text{FCO}_2$  din sol îi corespunde suprafeței de bază a arborilor cu cea mai mare valoare, determinată la suprafața de probă RF. Totodată, respirația solului în suprafața martor a înregistrat valoarea cea mai mică, comparativ cu celelalte două suprafețe de probă. La nivel anual, pentru suprafețele de probă parcurse cu rărituri, rata respirației a înregistrat valori medii apropiate:  $8,94 \text{ t C an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  (în RM), respectiv  $9,01 \text{ t C an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  (în RF). Totuși, aceste valori sunt mari comparativ cu suprafața martor, unde s-a înregistrat o valoare medie a  $\text{FCO}_2$  din sol de doar  $5,34 \text{ t C an}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ . O posibilă explicație a creșterii nivelului respirației din sol se poate datora unei activități intense de descompunere a materiei organice prin aportul substanțial al resturilor de exploatare existente după efectuarea răriturii, ce a culminat cu o creștere a producției de  $\text{CO}_2$  datorată microorganismelor din sol (Sullivan *et al.* 2008). În general, extragerea de material lemnos poate afecta  $\text{FCO}_2$  din sol și în același timp poate constitui un determinant important al circuitului carbonului din sol și al factorilor ecologici specifici, precum biomasa rădăcinilor cât și a umidității și a temperaturii din sol (Akburak și Makineci, 2016).

Conform rezultatelor obținute, se poate sugera o influență pozitivă a intervenției asupra ratelor respirației din sol. Totuși, noi suprafețe cu indici de intensitate a extracției mai mari (chiar 50%) ar putea constitui o abordare mai elocventă, în vederea unei analize obiective a impactului intensității răriturilor asupra fluxurilor (Bragă și Spârchez, 2016).

### **5.13. Variabilitatea spațială a $\text{FCO}_2$ din sol**

#### **5.13.1. Introducere**

În timp ce variația sezonieră a respirației solului a fost asociată cu schimbări în regimul termic și hidric din sol (Davidson *et al.*, 1998), variabilitatea spațială este încă foarte puțin cunoscută (Rodeghiero și Cescatti, 2006). Principalii factori raportați ca fiind hotărâtori în variabilitatea spațială a respirației solului au fost identificați ca fiind configurația terenului, densitatea sau biomasa rădăcinilor, biomasa microbilor din sol, cantitatea de litieră, pH-ul din sol (Hanson *et al.*, 1993), caracteristicile vegetației dată în general de structura pădurii (Law *et al.*, 2001); distanța de la arbore și cantitatea de litieră acumulată anual (Saiz *et al.*, 2006b) sau chiar compoziția comunității de plante (Soe și Buchamnn, 2005).

În prezentul studiu, am investigat variabilitatea spațială a respirației solului la nivelul unui arboret pentru două blocuri experimentale diferite ca număr de măsurători, dar asemănătoare ca



suprafață (4,0 ha, 25m×25m, și 50m×50m). Scopul studiului a fost de a cuantifica variabilitatea spațială a FCO<sub>2</sub> într-o pădure de fag la scara unui arboret și totodată de a investiga efectul diferiților factori determinați pentru patru perioade reprezentative din an. Metoda de lucru a fost descrisă în cap. 4.3.5.

### 5.13.2. Analiza variabilității diurne

Pentru analiza datelor de derivă temporală sau a variabilității diurne a FCO<sub>2</sub> din sol, s-a măsurat în mai multe repetiții (14) prima poziție, din cadrul blocului experimental, specific gridului de 50m×50m, timp de două zile. Astfel, valorile determinate ale FCO<sub>2</sub> din sol a permis analiza variabilității diurne, prin detectarea prezenței unei tendințe. Măsurătorile ce s-au realizat în dispozitivul experimental au arătat faptul că valorile fluctuează asemănător cu o valoare medie globală, fără a urmări o pantă caracteristică. Astfel, pentru fiecare poziție s-a determinat valoarea medie și abaterea standard pentru cele trei măsurători efectuate. Valoarea medie a FCO<sub>2</sub> din sol măsurată în mai multe repetiții oscilează alături de valoarea medie globală. Prin analiza datelor, s-a constatat că nu există o derivă temporală pentru măsurătorile efectuate.

### 5.13.3. Numărul de probe necesar pentru evaluarea fluxului de dioxid de carbon din sol

Pentru evaluarea FCO<sub>2</sub> din sol la nivel unui arboret, pentru cazul unei suprafețe de 4,0 ha, s-a determinat numărul de probe necesar pentru fiecare perioadă de măsurători. Analiza datelor a arătat că există puncte cu valoare semnificativă în ceea ce privește ratele FCO<sub>2</sub> din sol, chiar la distanțe mici.

**Tabelul 5.13.3.1.** Numărul minim necesar de măsurători ale FCO<sub>2</sub> din sol  
*The necessary sample size to measure soil carbon dioxide efflux*

Perioada	Numărul de măsurători			
	Precizia	Intervalul de încredere		
		99%	95%	90%
Mai	±10%	2019	1640	275
	±20%	505	410	69
	±30%	224	182	31
August	±10%	3019	2451	412
	±20%	754	613	103
	±30%	335	272	46
Noiembrie	±10%	518	420	71
	±20%	129	105	18
	±30%	57	47	8
Februarie	±10%	120	98	16
	±20%	30	24	4
	±30%	13	11	2

Acest fapt a condus la necesitatea calculării numărului minim de eșantioane (puncte de măsurare) necesar pentru diferite niveluri de precizie, niveluri de încredere și pentru fiecare perioadă de măsurători (**tabelul 5.13.3.1.**). Cum este de așteptat pentru un nivel de încredere ridicat, este necesar un număr de probe mai mare. Indiferent de intervalul de încredere și precizia

adoptată, la nivel sezonier cele mai multe eșantioane, necesare pentru estimarea ratelor respirației solului, s-au determinat ca fiind în sezonul estival, comparativ cu perioada de iarnă, unde numărul de măsurători necesar pentru estimarea fluxurilor a fost cel mai redus.

#### 5.13.4. Elaborarea semi-variogramelor

Scopul construirii variogramei a fost acela de a vizualiza și interpreta variația spațială a parametrilor pedoclimatici și a  $\text{FCO}_2$  din sol. Opusă covarianței, variograma măsoară probabilitatea ca două puncte situate la o anumită distanță să fie diferite. Pentru reprezentarea semivariogramelor, pozițiile de măsurare au fost amplasate în același sistem de coordonate la o distanță constantă de 25m.

Semivariogramele temperaturii din sol pentru cele patru perioade de măsurători arată diferențe ale structurii spațiale (**figura 5.13.4.1A**).

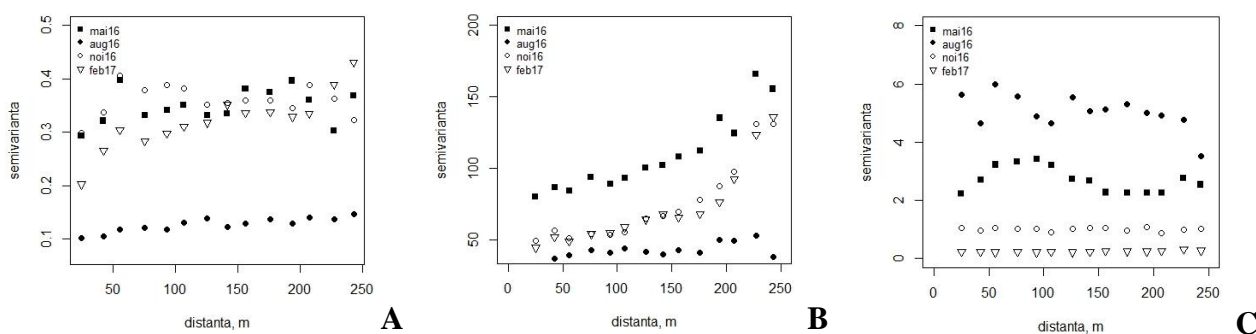
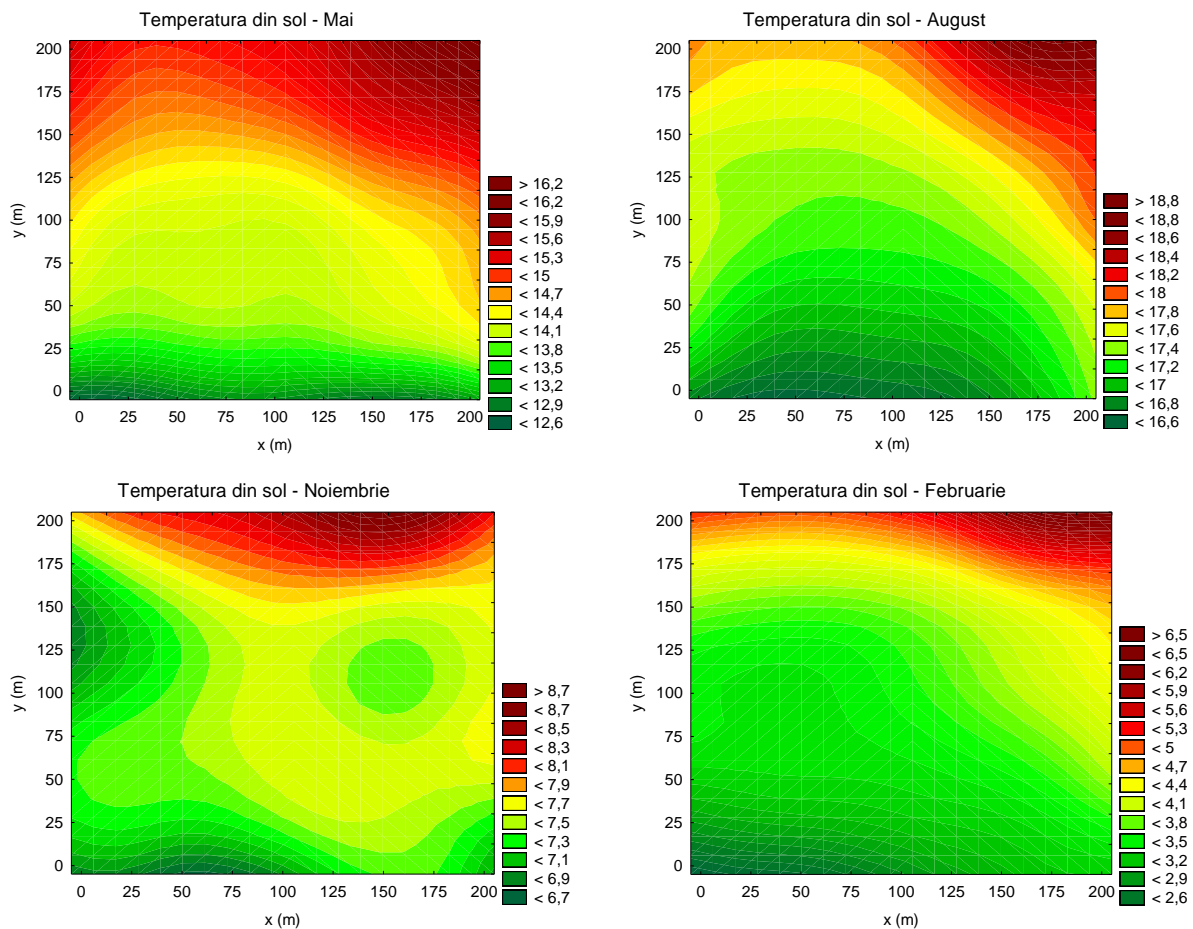


Figura 5.13.4.1. Semivariogramele temperaturii din sol (A), umidității din sol (B) și  $\text{FCO}_2$  din sol (C)  
*Semi-variograms of the soil temperature, soil moisture and soil carbon dioxide efflux*

Dacă pentru modelul din vară, trendul este ușor ascendent, structura spațială pentru seria de măsurători efectuate în luna februarie prezintă un comportament anizotropic mai puternic, datorat diferențelor mai mari între locațiile de măsurare. În ceea ce privește variogramele pentru umiditatea din sol, structura spațială este realizată, cu excepția seriei de măsurători efectuate în luna august, datorat cel mai probabil fenomenului de secetă înregistrat în această perioadă și pentru care umiditatea din sol se află la nivelul cel mai scăzut din an (**figura 5.13.4.1B**). Variograma crește mai rapid cu cât diferențele între puncte sunt mai mari, aceasta dându-ne informații asupra vitezei cu care descrește zona de influență a variabilelor analizate, cât și asupra intensității diferențierilor spațiale. Variogramele pentru  $\text{FCO}_2$  din sol, descriu variabilitatea spațială a ratei respirației solului pentru seriile de măsurători primăvară-vară, justificat de influența diferită a vegetației asupra respirației solului, iar pentru celelalte măsurători efectuate în perioada de toamnă-iarnă comportamentul anizotropic este mult mai slab (**figura 5.13.4.1.C**). Cu alte cuvinte, variabilitatea fluxurilor din sol între pozițiile de măsurare este foarte mare, deci posibilitatea este redusă, pentru a surprinde o structură spațială.

### 5.13.5. Variabilitatea spațială a temperaturii din sol

Temperatura din sol a avut în luna mai o valoare medie de 14,4°C, înregistrând o valoare maximă de 16,5°C și o valoare minimă de 11,9°C. Pentru măsurătorile efectuate în luna august temperatura medie a crescut cu 3°C, înregistrându-se o temperatură minimă similar cu cea maximă din primăvară iar temperatura maximă pentru aceeași perioadă a fost de 19,5°C. Cum era de așteptat, luna noiembrie a înregistrat valori mai scăzute ale temperaturii din sol, determinându-se o valoare medie de 7,5°C, cu o valoare minimă de 12°C mai puțin decât valoarea medie înregistrată în vară și o valoare maximă de 9,3°C. Cele mai scăzute temperaturi din sol s-au înregistrat în luna februarie, valoarea medie fiind de 3,8°C, cu o valoare minimă de 1,9°C și o valoare maximă de 7,2°C.

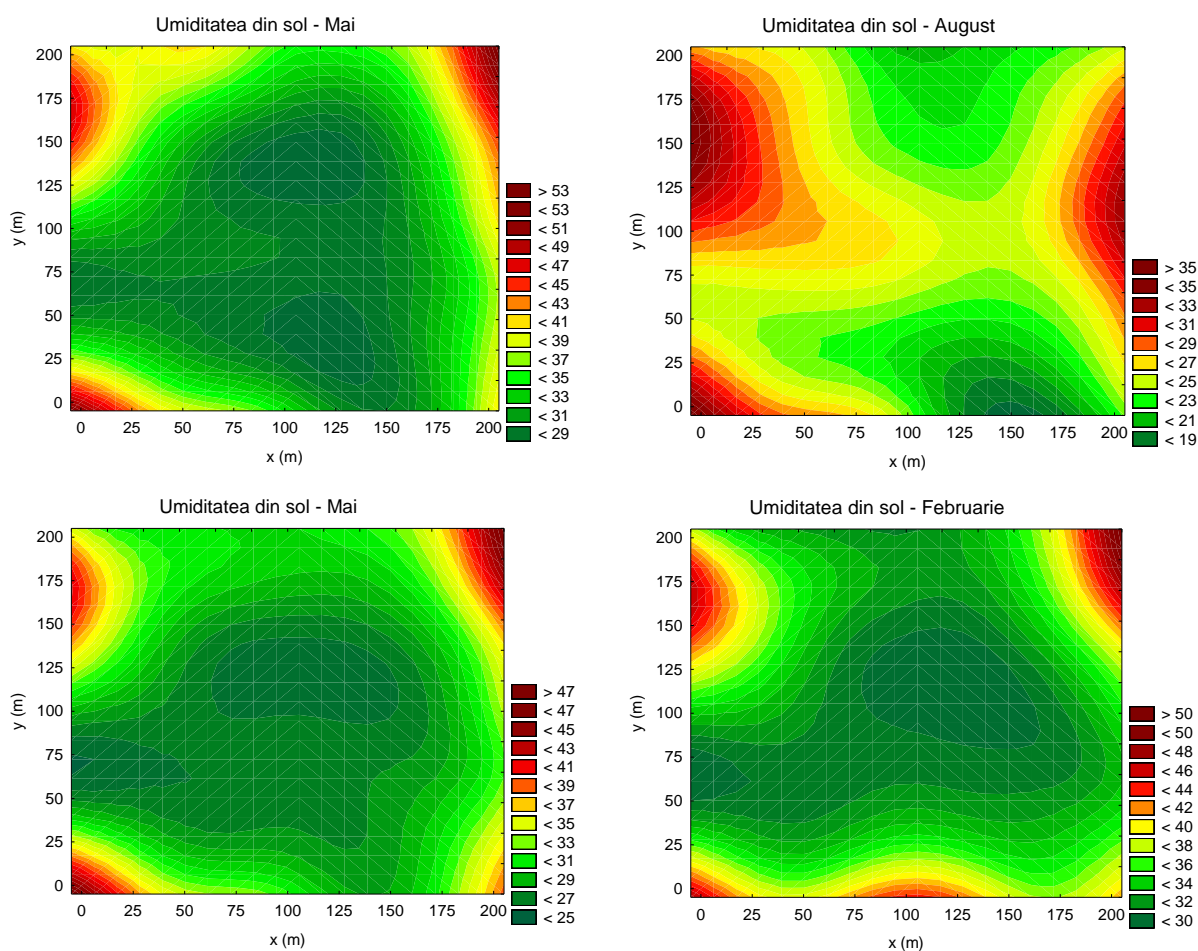


**Figura. 5.13.5.** Hărțile de interpolare privind variabilitatea spațială a temperaturii din sol (°C)  
*Interpolation maps with spatial variability of soil temperature*

De asemenea, coeficienții de variație determinați au avut valoarea maximă în februarie, fiind de 23% iar valoare minimă în august, fiind de 3%, celelalte două perioade de măsurători din timpul anului înregistrând valori intermediare ale acestora.

### 5.13.6. Variabilitatea spațială a umidității din sol

Umiditatea din sol a înregistrat o valoare medie în mai, similară cu cea din februarie, fiind de 33,0%. De asemenea, chiar dacă valorile maxime ale umidității din sol au fost aproximativ egale, de circa 62,0%, valoarea minimă înregistrată în februarie a fost dublă, fiind de 20,2% comparativ cu cea înregistrată în luna mai. Umiditatea din sol înregistrată în luna august a avut o valoare medie de 24,0%, valoarea minimă înregistrată a fost de 9,0%, valoare apropiată de valoarea minimă înregistrată în luna mai. Totodată, valoare maximă estivală a umidității din sol a fost de 40,9%, fiind cea mai mică valoare înregistrată comparativ cu maximele înregistrate în celelalte perioade. Pentru măsurătorile din toamnă, valoarea medie determinată a fost cu circa 6% mai mare decât în vară, înregistrând o valoare minimă de 15,2% și o valoare maximă de 57,9%.

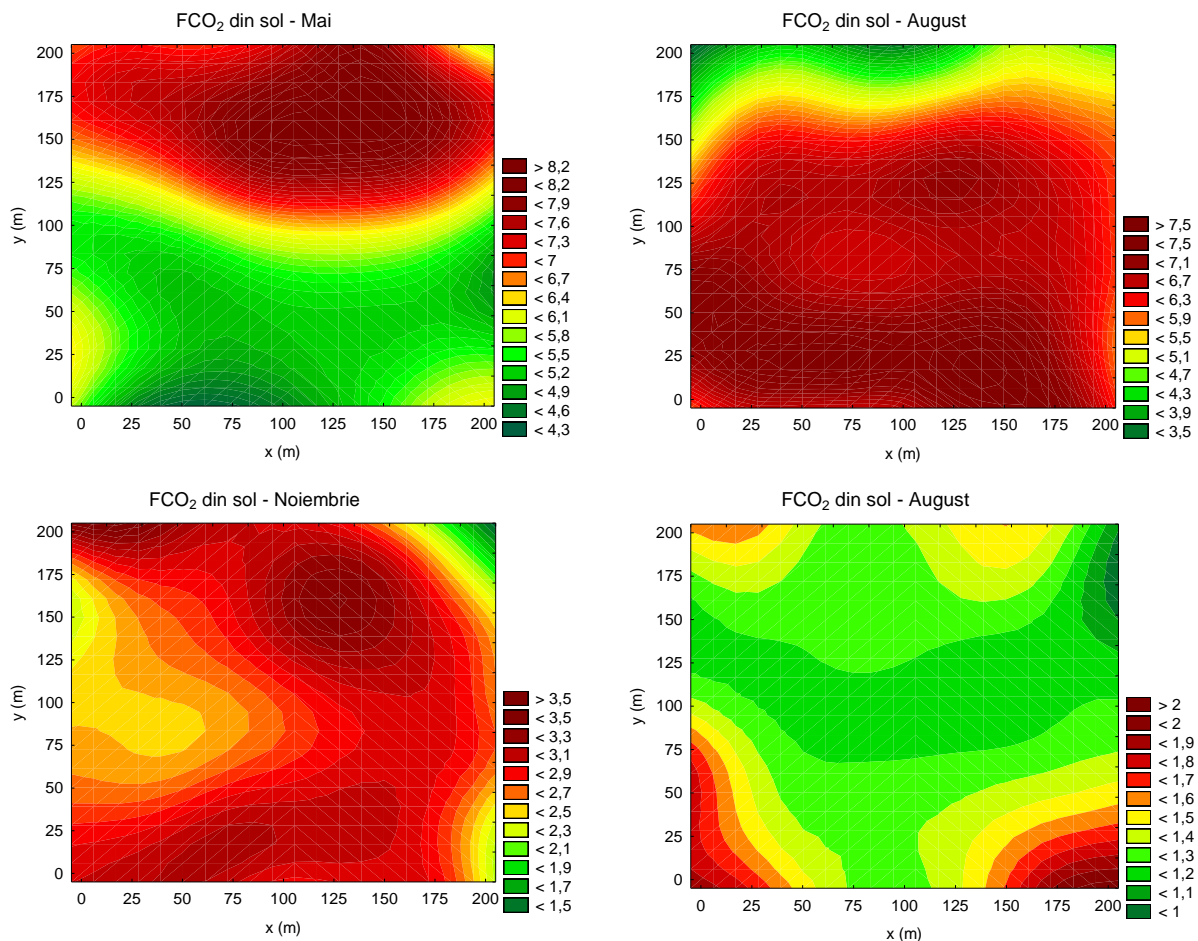


**Figura. 5.13.6.** Hărțile de interpolare privind variabilitatea spațială a umidității din sol (%)  
*Interpolation maps with spatial variability of soil moisture*

Prin determinarea coeficientului de variație pentru fiecare perioadă de măsurători, acesta au avut cea mai mare valoare în perioada de măsurători din primăvară, fiind de 30% și cea mai mică valoare în perioada de măsurători din vară, fiind de 26%. Totuși, prezența unor zone stabile din punct de vedere al conținutului de apă din sol, indiferent de perioada de măsurători, mai ales în timpul sezonului de vegetație, este sugestiv descrisă de hărțile de interpolare (**figura 5.13.6**).

### 5.13.7. Variabilitatea spațială a respirației solului

Fluxul de dioxid de carbon din sol a înregistrat o valoare medie de  $6,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  în luna mai, de altfel o valoare similară cu cea înregistrată în luna august. Valoarea minimă înregistrată a fost de  $3,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  iar cea maximă a fost de  $11,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Pentru luna august valoarea minimă a fluxului a fost de doar  $2,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  chiar dacă valoarea maximă înregistrată a înregistrat cea mai ridicată valoare la nivelul studiului, fiind de  $13,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Pentru determinările efectuate în luna noiembrie, ratele fluxurilor au înregistrat o valoare medie de  $2,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , cu o valoare minimă de  $1,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , chiar dacă valoarea maximă înregistrată a fost comparabilă cu valorile medii înregistrate în lunile mai și august, fiind de  $5,85 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Fluxurile determinate în luna februarie au înregistrat cum era de așteptat cele mai scăzute valori, valoare minimă fiind de  $0,42$  și valoarea maximă comparabilă cu valoare medie din noiembrie, fiind de  $2,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .



**Figura. 5.13.4.** Hărțile de interpolare privind variabilitatea spațială a  $\text{FCO}_2$  din sol ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )  
*Interpolation maps with spatial variability of soil  $\text{FCO}_2$*

Se poate afirma că variabilitate spațială a fluxurilor la nivelul suprafeței experimentale înregistrează cele mai mari valori ale coeficienților de variație, fiind cuprinși între 31-38%, comparativ cu variabilitatea factorilor pedoclimatici

Prin alcătuirea hărților de interpolare a variabilității spațiale atât a factorilor pedoclimatici cât și a  $\text{FCO}_2$  din sol, create pentru a vizualiza distribuția spațială a acestora, s-a putut constata prezența unei variații diferite atât după variabila urmărită cât și după perioada de măsurători.

Dacă în cazul temperaturii și umidității din sol, hărțile de interpolare urmăresc un trend similar la nivel sezonier, nu același lucru s-a putut constata în cazul hărților de interpolare ce descriu  $\text{FCO}_2$  din sol (**figura 5.13.4**). Ratele  $\text{FCO}_2$  din sol au fost corelate destul de slab între măsurătorile efectuate în luna Mai și celelalte perioade ( $R^2=0,0075$ ,  $R^2=0,00246$ ,  $R^2=0,0283$ ;  $p<0,05$ ), chiar dacă pentru aceleași comparații, valorile temperaturii din sol, dar mai ales a umidității din sol, au înregistrat corelații bune între măsurători efectuate ( $T_{\text{solMai}}$  și  $T_{\text{solAug}}$ .  $R^2=0,478$ ;  $U_{\text{solMai}}$  și  $U_{\text{solAug}}$ .  $R^2=0,585$ ). Totuși, valorile fluxurilor înregistrate între măsurătorile efectuate între Aug-Nov. ( $R^2=0,261$ ) și Nov. ( $R^2=0,219$ ) au înregistrat corelații satisfăcătoare. Acestea, coroborate cu valorile ridicate ale coeficienților de variație și absența autocorelației pentru respirația solului, pot furniza informația că există un grad ridicat de heterogenitate a fluxurilor de  $\text{CO}_2$  din sol. Izogramele pentru cele patru serii de măsurători arată un model neuniform cauzate de rate ridicate ale fluxurilor de  $\text{CO}_2$ , ce au o repetabilitate distinctă ca poziție pe toată durata experimentului. Acestea nu pot decât să demonstreze lipsa existenței unei structuri spațiale a ratelor de fluxuri de  $\text{CO}_2$  din sol.

Contrar variației sezoniere, manifestate prin analiza celor patru perioade diferite din an, variabilitatea spațială a  $\text{FCO}_2$  din sol a fost determinată de influența temperaturii din sol la un nivel foarte scăzut. Acest lucru s-a datorat faptului că variația spațială a temperaturii din sol pentru fiecare perioadă de măsurători a fost destul de mică, drept pentru care am avut următoarele valori ale coeficientului de determinare: mai 2016  $R^2=0,1265$  ( $p=0,0011$ ); august 2016  $R^2=0,1434$  ( $p=0,0005$ ); noiembrie 2016  $R^2=0,0730$  ( $p=0,0147$ ); februarie 2017  $R^2<0,001$  ( $p=0,9720$ ). Așadar, pentru perioada de vară, temperatura din sol a avut cea mai bună corelație cu  $\text{FCO}_2$  din sol, comparativ cu măsurătorile efectuate în iarnă când relația dintre cele două variabile a fost una ne semnificativă.

În același mod s-a analizat și legătura la nivel spațial a umidității din sol cu rata fluxurilor. Similar cazului precedent, o legătură puternic semnificativă nu s-a realizat între umiditatea și  $\text{FCO}_2$  din sol, dovadă fiind valorile coeficienților de determinare: mai 2016:  $R^2=0,0027$  și  $p=0,6427$ ; august 2016:  $R^2=0,1206$  și  $p=0,0015$ ; noiembrie 2016:  $R^2=0,1469$  și  $p=0,0004$ ; februarie 2017:  $R^2=0,0433$  și  $p=0,0624$ . Practic nivelul semnificației a fost dovedit pentru lunile august și noiembrie, iar pentru lunile mai și februarie legătura dintre umiditate și rata fluxurilor a fost una ne semnificativă, acest fapt fiind justificat de faptul că în perioada cu un conținut scăzut de apă în sol ( $U_s=25\%$ ), efectul umidității din sol prezintă un rol semnificativ în cuantificarea variabilității  $\text{FCO}_2$  din sol.

### 5.13.8 Analiza factorilor ce influențează variabilitatea spațială a FCO<sub>2</sub> din sol

#### 5.13.8.1. Analiza corelației Pearson

Factorii abiotici și biotici analizați pentru cele patru serii de măsurători efectuate în raport cu fluxul de dioxid de carbon din sol (FCO<sub>2</sub>) au fost: temperatura din sol la 3cm adâncime (Ts) , umiditatea din sol la 20 cm adâncime (Us), numărul de arbori la ha (N), distanța medie față de arbori (dMedie), distanța minimă față de arbori (dMin), diametrul mediu (D), suprafața de bază (G), grosimea litierii (gLit), conținutul de carbon organic din sol (Cs), panta (p), procentul de pătură erbacee (pErb), procentul de semințis (Sem). Pentru analiza acestor factori ce afectează respirația solului s-a recurs la analiza Pearson pentru fiecare perioadă din an (primăvară, vară, toamnă, iarnă), cât și pentru perioada cumulată.

Conform analizei de corelație Pearson (**tabelul 5.13.8.1**), FCO<sub>2</sub> din sol a fost corelat semnificativ ( $p < 0,05$ ) și pozitiv cu temperatura din sol pentru luna mai ( $r = 0,355$ ), noiembrie ( $r = 0,270$ ), cât și pentru întreaga perioadă de măsurători ( $r = 0,785$ ), lucru de altfel explicabil întrucât temperatura din sol reprezintă principalul factor care influențează respirația solului la nivel temporal. Aceeași analiză confirmă o relație semnificativă dar negativă cu umiditatea din sol, pentru luna august ( $r = -0,347$ ) și noiembrie ( $r = -0,383$ ), dar și pentru întreaga perioadă ( $r = -0,260$ ).

**Tabelul 5.13.8.1** Valorile coeficienților de corelație ale FCO<sub>2</sub> din sol și factorii determinați  
*The correlation between soil FCO<sub>2</sub> and determined factors*

FCO <sub>2</sub>	Ts	Us	N	dMedie	dMin	D	G	gLit	Cs	p	pErb	Sem
Mai.16	<b>0,355</b>	-0,052	0,066	-0,133	-0,181	0,046	0,013	<b>-0,310</b>	0,067	-0,115	-0,077	0,066
Aug.16	<b>-0,378</b>	<b>-0,347</b>	0,125	0,175	0,087	0,078	0,089	0,016	0,018	-0,066	0,111	-0,116
Nov.16	<b>0,270</b>	<b>-0,383</b>	0,065	0,024	0,012	-0,037	-0,080	<b>0,410</b>	-0,000	-0,031	0,057	-0,003
Feb.17	-0,003	-0,207	0,162	-0,004	-0,047	-0,089	-0,132	<b>0,240</b>	0,192	-0,152	-0,025	0,127
perioada	<b>0,785</b>	<b>-0,260</b>	0,090	0,023	-0,044	0,026	0,000	-0,0176	0,024	-0,047	-0,047	-0,063

O relație semnificativă dar negativă se înregistrează între umiditatea din sol și FCO<sub>2</sub>, pentru perioadele de măsurători efectuate în lunile august ( $r = -0,347$ ) și noiembrie ( $r = -0,383$ ). Totodată, între grosimea stratului de litieră și FCO<sub>2</sub> din sol pentru măsurătorile efectuate la sfârșitul primăverii s-a înregistrat o relație semnificativă, dar negativă ( $r = -0,310$ ), comparativ cu perioada din vară pentru care nu a existat o legătură semnificativă. De asemenea, între grosimea stratului de litieră și FCO<sub>2</sub> din sol a existat o relație semnificativă și pozitivă pentru determinările efectuate în lunile noiembrie ( $r = 0,410$ ) și februarie ( $r = 0,240$ ).

În ceea ce privește ceilalți parametri determinați, aceștia nu au îndeplinit nivelul de semnificație pentru a fi luați în considerare, chiar dacă alte studii (Soe și Buchmann, 2005), confirmă de exemplu o legătură semnificativă între fluxurile de dioxid de carbon din sol cu valori ridicate determinate în locațiile unde au existat arbori de dimensiuni mari. Totodată, aceeași autori arată că nu există nici o corelație între distanța celui mai apropiat arbore față de

poziția de măsurare a emisiilor de carbon din sol, fapt arătat și în prezentul studiu ( $r=0,044$ ;  $p>0,05$ ).

### 5.13.8.2. Alegerea modelului optim și aplicarea criteriului informațional Akaike

Pentru stabilirea modelului optim la nivel spațial al respirației solului, pentru cele patru perioade de măsurători, s-a folosit ecuația de regresie logaritmică de tip liniar. Parametrii care s-au luat în considerare au fost diferiți în funcție de perioada de timp analizată, fapt datorat testării modelului adoptat folosind criteriul informațional Akaike (**tabelul 5.13.8.2**): **mai.16** – temperatura din sol, distanța minimă față de arbore, grosimea litierei, panta terenului și procentul de semințiș ocupat; **aug.16** – temperatura și umiditatea din sol, distanța medie față de arbore, suprafața de bază și panta terenului; **nov.2016** – temperatura și umiditatea din sol, suprafața de bază, grosimea litierei și panta terenului; **feb.2017** – umiditatea din sol, grosimea litierei, carbonul din sol, panta terenului.

**Tabelul 5.13.8.2.** Analiza modelului optim adoptat pentru fiecare perioadă  
*The optimal model characteristics for each measurement period*

Perioada	Coeficienții ecuației liniar logaritmice						R <sup>2</sup>	AIC
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>		
mai.16	-0,8849	0,0614	-0,0213	-0,0511	-0,0045	0,0023	0,2020	-109,361
aug.16	2,0935	-0,1306	-0,0107	0,0524	0,0008	-0,0026	0,2380	-68,583
nov.16	-1,3841	0,0733	-0,0165	-0,0018	0,1448	0,0046	0,3360	-92,572
feb.17	-3,5677	-0,0807	0,4374	0,0426	-0,0345	-	0,1520	-70,361

Modelul cu cea mai bună acoperire s-a dovedit ca fiind cel determinat în luna noiembrie ( $R^2=0,336$ ) iar cel cu cea mai slabă acoperire a fost determinat în luna februarie ( $R^2=0,152$ ). Probabil, valoarea cea mai ridicată a coeficientului de corelație înregistrat între grosimea stratului de litieră și  $FCO_2$  din sol ( $R=0,410$ ;  $p<0,05$ ), pentru această perioadă, a contribuit semnificativ în constituirea modelului optim. Prin analiza corelației dintre valorile prognozate și cele măsurate ale respirației solului se arată că, pentru un nivel de semnificație ridicat ( $p<0,05$ ), modelele determinate pentru cele patru perioade caracteristice din an sunt explicate atât de factorii abiotici cât și de cei biotici, ce țin, mai ales de caracteristicile structurale ale arboretului.

### Discuții

Analizele efectuate, pentru prima parte a perioadei de vegetație au demonstrat un grad foarte ridicat al variabilității spațiale a  $FCO_2$  din sol și în același timp absența unei structuri spațiale. Prezența unei variabilități spațiale ridicate a putut fi întâlnită și pentru factorii abiotici (temperatura și umiditatea din sol), cu excepția perioadei măsurătorilor din august unde umiditatea din sol a avut cea mai scăzută valoare. Studiile dezbătute pe variația spațială a fluxurilor de dioxid de carbon din sol arată că modelele spațiale sunt puternic influențate de condițiile microstaționale (Soe și Buchmann, 2005). Cel mai mult carbon pierdut din sol a fost înregistrat în perioada de vară, atunci când temperatura din sol este cea mai ridicată.



Modelul sezonier al variabilității spațiale a  $\text{FCO}_2$  poate fi exprimat de numărul de măsurători necesar pentru a estima respirația solului. Alegerea numărului de probe încă nu este standardizat, drept pentru care unele studii au folosit un eșantionaj mai mare (Barba *et al.*, 2013), iar altele un număr mai mic de prelevări (Yim *et al.*, 2003). Cu toate acestea, un număr minim de probe poate să nu acopere situațiile heterogene sau diferite, datorită lipsei unei metodologii de standardizare pentru estimarea spațială a respirației solului la această scară.

Fluxul de dioxid de carbon din sol, măsurat la nivelul unui arboret, a fost descris și de alte studii, care au raportat valori asemănătoare (Barba *et al.* 2013, Tang și Baldoschi 2015). Cel mai frecvent, modificarea sau alegerea unor camere de respirație diferite ca volum pot conduce, mai ales pentru cele de dimensiuni mici, la subaprecierea spațială a estimării  $\text{FCO}_2$  din sol (Keith și Wong, 2006, Rodeghiero & Cescaloti, 2008).

Distribuția spațială a respirației solului, remarcată prin hărțile de interpolare și coeficienți de variație relativ mari, sunt elemente care contribuie la afirmația generală că există un grad ridicat de heterogenitate spațială. Alături de grosimea stratului de litieră, acțiunea factorilor pedoclimatici descriu cel mai bine variabilitatea spațială a respirației solului. Surprinderea unei relații semnificative între grosimea stratului de litieră și  $\text{FCO}_2$  din sol pe durata experimentului, cu excepția măsurătorilor din august, poate fi justificată de faptul că o parte din biomasa microorganismelor se găsesc în acest orizont. Ngao *et al.* (2012) confirmă faptul că orizontul de litieră, pentru pădurile de fag cu humus de tip mull, aduce o contribuție de circa 20% la respirația heterotrofă și considerând totodată că, raportul între respirația autotrofă și heterotrofă ca fiind de 6:4 (Epron *et al.* 1999), va rezulta o contribuție, datorată prezenței stratului de litieră, de circa 8% din  $\text{FCO}_2$  total din sol.

De-a lungul celor patru serii de măsurători a existat o stabilitate relativă a modelelor spațiale, lucru demonstrat mai mult pentru variabilitatea factorilor pedoclimatici. Existența unor perioade diferite din an, nu a păstrat un model constant al variabilității spațiale a respirației solului. Astfel o stabilitate observată a modelelor spațiale ale respirației solului ar putea fi asociată cu o relativă stabilitate a caracteristicilor structurale ale pădurii (Soe și Buchmann, 2005). Înțelegerea modului prin care factorii biotici și abiotici afectează variabilitatea spațială a respirației solului, poate conduce la o mai bună predictibilitate pentru estimarea  $\text{FCO}_2$  din sol, după diferite nivele de studiu alese, mai ales prin faptul că există o mare variabilitate spațială a respirației solului, atât la scara mică cât și la o scara mai mare, specifică unui ecosistem (Soe și Buchmann, 2005, Rodeghiero și Cescatii, 2008) sau la nivel global (Janssens *et al.*, 2001, Vargas *et al.* 2010, Barba *et al.* 2013).

## **CAPITOLUL VI CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DISEMINAREA REZULTATELOR. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE**

---

### ***6.1. Concluzii finale***

Prezenta lucrare se finalizează cu o sinteză a rezultatelor obținute, în conformitate cu obiectivele propuse inițial. Pentru acest lucru s-au obținut rezultate cu privire la:

#### **1. Determinarea carbonului din biomasă, litieră și sol cât și a azotului și pH-ului din sol**

**A.** Variabilitatea mare a carbonului rezultat din biomasa arborilor este dată atât de caracteristicile structurale cât și de vârsta arboretelor. Totodată, nu trebuie neglijat tipul și intensitatea lucrărilor silvotehnice, care pot avea un aport semnificativ în acumularea anuală de carbon.

**B.** Cantitatea de carbon din orizontul de litieră crește de la arboretele tinere la arboretele bătrâne, iar cea mai mare cantitate de carbon pe componente se găsește în frunze. Valoarea minimă s-a înregistrat într-un arboret de 15 ani iar valoarea maximă într-un arboret de 150 de ani. Totodată, conținutul de carbon din litiera provenită din fructe prezintă valori mari în arboretele bătrâne, posibil datorat fructificațiilor periodice. De asemenea, conținutul de carbon din lemn mort nu a înregistrat diferențe semnificative între suprafețe, probabil mortalitatea exemplarelor de vârste mici datorate concurenței coroborat cu efectuarea operațiunilor culturale au putut compensa resturile de exploatare existente în arboretele mature.

**C.** Cea mai mare cantitate de carbon s-a găsit într-un arboret de fag de 70 de ani, iar cea mai mică cantitate s-a găsit într-un arboret unde s-a executat lucrări de transformare spre grădinărit, posibil datorată perturbării mai accentuate a solului. Coeficienții de variație calculați pentru fiecare orizont în parte prezintă o valoare maximă pentru nivelul 11-20 cm și o valoare minimă pentru ultimele două niveluri geometrice.

**D.** Cea mai scăzută cantitate de azot total din sol a fost întâlnită în arboretele bătrâne parcurse atât cu lucrări progresive cât și cu lucrări de transformare spre grădinărit. Următorul grup este reprezentat de arboretele foarte tinere cu vârsta variind de la 5 la 25 de ani. Cele mai mari valori ale conținutului de azot din sol au fost găsite pentru arboretele de vârstă medie, parcurse cu lucrări de rărituri.

**E.** Solurile analizate sunt slab spre moderat acide iar atât între suprafețe cât și pe profilul solului, pH-ul nu a înregistrat variații semnificative.

## **2. Analiza variabilității sezoniere a factorilor pedoclimatici**

**A.** La nivelul tuturor suprafețelor de probă investigate, curbele de variație ale temperaturii din sol au urmat trenduri similare, valoarea maximă înregistrându-se în luna iulie (suprafața fără pădure) și valoarea minimă înregistrându-se în luna decembrie (arboretul cu vârsta de 25 ani). Totuși, grupul celor două suprafețe (OV și RN) prezintă diferențe semnificative ale temperaturii în sol comparativ cu celelalte suprafețe, cu excepția perioadei de iarnă, unde diferențe semnificative s-a întâlnit doar pentru suprafața fără pădure.

**B.** În general, curbele de variație a umidității din sol au înregistrat trenduri asemănătoare pentru cele patru perioade din an studiate, având valori ridicate în primăvară și valori scăzute la începutul toamnei. Analiza varianței a demonstrat că există diferențe semnificative ale umidității din sol între suprafețele de probă investigate.

## **3. Analiza spațio-temporală a fluxului de dioxid de carbon și determinarea emisiilor anuale de carbon din sol**

**A.** Variabilitatea sezonieră a fluxului de dioxid de carbon din sol prezintă un trend similar variabilității temperaturii din sol. Totodată, există diferențe semnificative între valorile medii ale respirației solului determinate pentru aceeași perioadă specifice suprafețelor de probă analizate.

**B.** Stocul de carbon emis din sol crește cu vârsta arboretelor, chiar dacă perturbarea solului ar indica modificări substanțiale ale emisiilor, ca în cazul arboretului de 5 ani. Valoarea medie anuală a carbonului emis din sol corespunde unui arboret de 70 de ani.

**C.** Analiza derivatei temporale confirmă lipsa influenței variabilității diurne. Totodată numărul de eșantioane necesar pentru a estima respirația solului depinde, pentru diferite intervale de încredere, de precizia adoptată. Totodată, pentru estimarea fluxurilor de dioxid de carbon pentru sezonul estival sunt necesare un număr mult mai mare de eșantioane, comparativ cu sezonul hiemal.

**D.** Prin analiza hărților de interpolare și a semivariogramelor s-a demonstrat faptul că variabilitatea spațială a  $FCO_2$  din sol este foarte mare și totodată posibilitatea de a surprinde o structură spațială este destul de mică.

## **4. Analiza influenței principalilor factori biotici și abiotici asupra $FCO_2$ din sol**

**A.** Prin testarea celor opt modele climatice ale fluxurilor de dioxid de carbon din sol, la nivel temporal s-a putut constatat că temperatura din sol are un rol semnificativ în cadrul fiecărei suprafețe de probă, în ceea ce privește contribuția factorilor abiotici asupra variabilității

fluxurilor. Totodată, modelul logaritmic aduce cele mai bune satisfacții, motiv pentru care a fost adoptat ulterior în construcția modelului optim.

**B.** S-a determinat modelul optim cât și aportul factorilor ce influențează variabilitatea sezonieră a respirației solului. Astfel, s-a constatat că aproximativ 71% din variabilitatea temporală a  $\text{FCO}_2$  din sol este dată de contribuția factorilor abiotici și biotici ce alcătuiesc modelul optim, circa 38% din această variabilitate fiind datorată factorilor pedoclimatici cât și a interacțiunii dintre aceștia. Analizând caracteristicile arboretelor, vârsta acestora aduce cel mai consistent aport în cadrul modelului de circa 18%, carbonul organic din sol și litieră, explicând doar 10% din variabilitatea fluxului de dioxid de carbon din sol.

**C.** În analiza datelor cumulate aportul factorilor pedoclimatici asupra  $\text{FCO}_2$  la nivel temporal este adus preponderent de temperatura din sol, doar în perioada de secetă efectul umidității din sol asupra fluxului a avut un rol determinant.

**D.** Influența vegetației asupra fluxului este evidențiată în suprafața fără pădure cu un aport de 19% mai mare de  $\text{CO}_2$  emis din sol, comparativ cu suprafața cu pădure, unde încălzirea și totodată activitatea din sol este mai puțin intensă. Impactul intervenției, cazul analizei răriturilor, este semnificativ comparativ cu suprafața martor însă indici de recoltare mai mari și o perioadă lungă de măsurători ar pune mai bine în evidență efectul tipului și intensității lucrării silvotehnice asupra fluxurilor de dioxid de carbon din sol.

**E.** Parametrii luați în considerare, ce alcătuiesc modelul optim, privind variabilitatea spațială a  $\text{FCO}_2$ , au fost diferiți în funcție de perioada de timp analizată, modelul cu cea mai bună acoperire fiind determinat în luna noiembrie ( $R^2=0,34$ ), iar cel cu cea mai slabă acoperire a fost determinat în luna februarie ( $R^2=0,15$ ).

## **6.2. Contribuții originale**

1. A fost realizat pentru prima oară în România un studiu privind emisiile de dioxid de carbon din solurile forestiere folosind tehnica IRGA și totodată s-a emis o metodologie proprie referitor la măsurătorile fluxurilor de dioxid de carbon din sol în arborete de fag cu structuri și vârste diferite.

2. S-a cuantificat fluxurile de dioxid de carbon din sol la nivel anual, determinându-se totodată stocul de carbon din sol, litieră și biomasa supraterenă a arborilor pentru arborete de fag din zona de deal. Totodată, s-a determinat numărul minim de măsurători, necesar evaluării FCO<sub>2</sub> din sol la nivelul unui arboret, în funcție de precizia și intervalul de încredere adoptate, pentru patru perioade diferite din an.

3. Au fost analizați principalii factori de natură biotică și abiotică care influențează variabilitatea spațio - temporală a fluxurilor de dioxid de carbon din sol.

4. S-au testat modele diferite de analiză a factorilor prin care s-a determinat modelul optim, la scară spațio - temporală, folosind elemente de analiză statistică specifice.

## **6.3. Diseminarea rezultatelor**

### **A. Lucrări publicate în reviste BDI**

1. **Bragă C.** și Spârchez G., 2015. Fluxul de CO<sub>2</sub> din solurile forestiere: concept, caracteristici și metode de determinare. Revista de Silvicultură și Cinegetică Brașov. Nr 36 p 81-86

2. **Bragă C.** și Spârchez G., 2015. The influence of forest management on the amount of litter organic carbon in beech forest. Buletin of the Transilvania university of Brasov, Vol 8 (57) nr 1 p 1-7

3. **Bragă C.** și Spârchez G., 2016. Efectul intensității răriturilor asupra dinamicii sezoniere a fluxului de dioxid de carbon din sol. Revista Pădurilor Nr 1-2 /2016 p 21-29

4. **Bragă C.** și Spârchez G., 2016. Contrasting soil respiration in an young and old growth beech foresProceedings of the Biennial International Symposium. Forest and sustainable development, Brașov, 7-8th October 2016, Transilvania University Press

### **B. Lucrări trimise spre publicare în reviste ISI**

**Bragă C.**, Spârchez G, Petrițan C. Seasonal changes in spatial patterns of soil respiration at stand scale. Turkish Journal of agriculture and forestry (IF=1,288)

### **C. Lucrări prezentate la simpozioane și conferințe internaționale**

- 1. Bragă C., Dincă L., Bouriaud O., Spârchez G.** 2014. Can forest management influence the GHG? COST Action First annual meeting -What are we linking? Reading, UK
- 2. Bragă C., Dincă L., Bouriaud O., Spârchez G., Lucaci D., Enescu R.E.** 2014. The stock of organic carbon from Romania's forest ecosystems litter. Forest sustainable development, Brasov
- 3. Bragă C., Spârchez G.** Seasonal variability of soil CO<sub>2</sub> efflux in an old oak forest. 2016. ESSC, Cluj Napoca
- 4. Bragă C., Spârchez G.** 2016. Contrasting soil respiration in an young and old growth beech forest. Forest and sustainable development, Brașov
- 5. Bragă C., Spârchez G.** 2017. Analiza principalilor factori ce influențează variabilitatea respirației solului în făgete de deal. Simpozionul internațional: „Factori și procese pedogenetice în zona temperată”, Brașov

#### ***6.4. Direcții următoare de cercetare***

- 1.** Analiza variabilității și cuantificarea fluxurilor de dioxid de carbon din sol pe diferite etaje fitoclimatice, diferite condiții staționale și totodată diferite formații forestiere.
- 2.** Analiza factorilor perturbatori (secetă, incendii, doborâturi de vânt) asupra dinamicii carbonului
- 3.** Studii comparative privind influența unui gradient de management forestier, asupra fluxurilor de dioxid de carbon din sol, ca răspuns al istoricului lucrărilor executate dar și al gradelor de intensitate al acestora
- 4.** Evaluarea contribuției fiecărei componente ale respirației solului, folosind diferite metode de laborator și teren. Îmbunătățirea unor metodologii deja existente.
- 5.** Determinarea contribuției respirației solului în sezonul hiemal la foioase. Condiții vitrege existente și tipul de sisteme pentru măsurare limitează determinările pentru această perioada, deloc de neglijat în cuantificarea carbonului emis anual din sol.
- 6.** Crearea unor suprafețe de lungă durată în ecosistemele forestiere pentru monitorizarea fluxurilor de dioxid de carbon inter și intraanual folosind tehnica Eddy Covariance și a camerelor de respirație cu înregistrare continuă.

## **BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ**

Akburak, S., & Makineci, E. (2016). Thinning effects on soil and microbial respiration in a coppice-originated *Carpinus betulus* L. stand in Turkey. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(5), 783.

Atkins, J. W., Epstein, H. E., & Welsch, D. L. (2015). Vegetation and elevation influence the timing and magnitude of soil CO<sub>2</sub> efflux in a humid, topographically complex watershed. *Biogeosciences*, 12(10), 2975.

Bahn, M., Reichstein, M., Davidson, E. A., Grünzweig, J., Jung, M., Carbone, M. S., ... & Savage, K. (2009). Soil respiration at mean annual temperature predicts annual total across vegetation types and biomes. *Biogeosciences Discussions*, 6(6).

Baritz, R., Seufert, G., Montanarella, L., & Van Ranst, E. (2010). Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe. *Forest Ecology and Management*, 260(3), 262-277.

Barba, J., Yuste, J. C., Martínez-Vilalta, J., & Lloret, F. (2013). Drought-induced tree species replacement is reflected in the spatial variability of soil respiration in a mixed Mediterranean forest. *Forest Ecology and Management*, 306, 79-87.

Batjes, N. H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European journal of soil science*, 47(2), 151-163.

Batjes, N. H. (2002). Carbon and nitrogen stocks in the soils of Central and Eastern Europe. *Soil Use and Management*, 18(4), 324-329.

Berger, T. W., Inselsbacher, E., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2010). Carbon dioxide emissions of soils under pure and mixed stands of beech and spruce, affected by decomposing foliage litter mixtures. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(6), 986-997.

Bouriaud, O., Soudani, K., & Bréda, N. (2003). Leaf area index from litter collection: impact of specific leaf area variability within a beech stand. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(3), 371-380.

**Bragă C., Spârchez G. (2015).** The influence of forest management on the amount of litter organic carbon in beech forest. Buletin of the Transilvania university of Brasov, Vol 8 (57) nr 1 p 1-7

**Bragă C., Spârchez G. (2015).** Fluxul de CO<sub>2</sub> din solurile forestiere: concept, caracteristici și metode de determinare. Revista de Silvicultură și Cinegetică. Anul XX. Nr. 36: 81-86

**Bragă C., Spârchez G. (2016).** Efectul intensității răriturilor asupra dinamicii sezoniere a fluxului de dioxid de carbon din sol. Revista Pădurilor Nr 1-2 /2016 p 21-29

**Bragă C., Spârchez G. (2017).** Contrasting soil respiration in an young and old growth beech forest. Proceedings of the Biennial International Symposium. Forest and sustainable development, Braşov, 7-8th October 2016, Transilvania University Press

Bréda, N. J. (2003). Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of experimental botany*, 54(392), 2403-2417.

Čater, M., & Ogrinc, N. (2011). Soil respiration rates and in natural beech forest (*Fagus sylvatica* L.) in relation to stand structure. *Isotopes in environmental and health studies*, 47(2), 221-237.

Carey, J. C., Tang, J., Templer, P. H., Kroeger, K. D., Crowther, T. W., Burton, A. J., ... & Jiang, L. (2016). Temperature response of soil respiration largely unaltered with experimental warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(48), 13797-13802.

- Chiriță C. (1974). Ecopedologie cu baze pedologice generale. Editura Ceres p 241-374
- Cook, F. J., & Orchard, V. A. (2008). Relationships between soil respiration and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(5), 1013-1018.
- Davidson, E., Belk, E., & Boone, R. D. (1998). Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global change biology*, 4(2), 217-227.
- Dincă L., et al. (2012). The analysis methods of properties and soils solution. *Editura Tehnică Silvică. pp 84*.
- Dincă, L. C., Dincă, M., Vasile, D., Spârchez, G., și Holonec, L. (2015). Calculating Organic Carbon Stock from Forest Soils. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(2), 568.
- Ekblad, A., Boström, B., Holm, A., & Comstedt, D. (2005). Forest soil respiration rate and  $\delta^{13}\text{C}$  is regulated by recent above ground weather conditions. *Oecologia*, 143(1), 136-142.
- Epron, D., Farque, L., Lucot, É., & Badot, P. M. (1999). Soil  $\text{CO}_2$  efflux in a beech forest: dependence on soil temperature and soil water content. *Annals of Forest Science*, 56(3), 221-226.
- Epron, D., Ngao, J., & Granier, A. (2004). Interannual variation of soil respiration in a beech forest ecosystem over a six-year study. *Annals of Forest Science*, 61(6), 499-505.
- Epron, D., Le Dantec, V., Dufrene, E., & Granier, A. (2001). Seasonal dynamics of soil carbon dioxide efflux and simulated rhizosphere respiration in a beech forest. *Tree Physiology*, 21(2-3), 145-152.
- Gärdenäs, A. I. (1998). Soil organic matter in European forest floors in relation to stand characteristics and environmental factors. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13(1-4), 274-283.
- Geßler, A., Keitel, C., Kreuzwieser, J., Matyssek, R., Seiler, W., & Rennenberg, H. (2007). Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees*, 21(1), 1-11.
- Giurgiu V., Decei, I., Drăghiciu D., (2004). Metode și tabele dendrometrice. Editura Ceres, p.51-54
- Granier, A., Bréda, N., Longdoz, B., Gross, P., & Ngao, J. (2008). Ten years of fluxes and stand growth in a young beech forest at Hesse, North-eastern France. *Annals of Forest Science*, 65(7), 1.
- Grüneberg, E., Ziche, D., & Wellbrock, N. (2014). Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global change biology*, 20(8), 2644-2662.
- Hanson, P. J., Edwards, N. T., Garten, C. T., & Andrews, J. A. (2000). Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. *Biogeochemistry*, 48(1), 115-146.
- Huet, S., Forgeard, F., & Nys, C. (2004). Above-and belowground distribution of dry matter and carbon biomass of Atlantic beech (*Fagus sylvatica* L.) in a time sequence. *Annals of Forest Science*, 61(7), 683-694.
- Irvine, J., & Law, B. E. (2002). Contrasting soil respiration in young and old-growth ponderosa pine forests. *Global Change Biology*, 8(12), 1183-1194.
- IPCC, 2013: climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., ... & Byrne, K. A. (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 137(3), 253-268.



- Janssens, I. A., Kowalski, A. S., Longdoz, B., & Ceulemans, R. (2000). Assessing forest soil CO<sub>2</sub> efflux: an in situ comparison of four techniques. *Tree Physiology*, 20(1), 23-32.
- Janssens, I. A., & Pilegaard, K. I. M. (2003). Large seasonal changes in Q<sub>10</sub> of soil respiration in a beech forest. *Global Change Biology*, 9(6), 911-918.
- Janssens, I. A., Lankreijer, H., Matteucci, G., Kowalski, A. S., Buchmann, N., Epron, D., ... & Montagnani, L. (2001). Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests. *Global change biology*, 7(3), 269-278.
- Jassal, R. S., Black, T. A., Drewitt, G. B., Novak, M. D., Gaumont-Guay, D., & Nesic, Z. (2004). A model of the production and transport of CO<sub>2</sub> in soil: predicting soil CO<sub>2</sub> concentrations and CO<sub>2</sub> efflux from a forest floor. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(3), 219-236.
- Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications*, 10(2), 423-436.
- Karjalainen, T., Pussinen, A., Liski, J., Nabuurs, G. J., Erhard, M., Eggers, T., ... & Mohren, G. M. J. (2002). An approach towards an estimate of the impact of forest management and climate change on the European forest sector carbon budget: Germany as a case study. *Forest ecology and management*, 162(1), 87-103.
- Kavvadias, V. A., Alifragis, D., Tsiontsis, A., Brofas, G., & Stamatelos, G. (2001). Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *Forest ecology and management*, 144(1), 113-127.
- Keidel, L., Kammann, C., Grünhage, L., Moser, G., & Müller, C. (2015). Positive feedback of elevated CO<sub>2</sub> on soil respiration in late autumn and winter. *Biogeosciences Discussions*, 11, 8749-8787.
- Keith, H., & Wong, S. C. (2006). Measurement of soil CO<sub>2</sub> efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(5), 1121-1131.
- Kemmitt, S. J., Wright, D., Goulding, K. W., & Jones, D. L. (2006). pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(5), 898-911.
- Klopatek, J. M. (2002). Belowground carbon pools and processes in different age stands of Douglas-fir. *Tree Physiology*, 22(2-3), 197-204.
- Knohl, A., Sørensen, A. R., Kutsch, W. L., Göckede, M., & Buchmann, N. (2008). Representative estimates of soil and ecosystem respiration in an old beech forest. *Plant and Soil*, 302(1-2), 189-202.
- Lajtha, K., Bowden, R. D., & Nadelhoffer, K. (2014). Litter and root manipulations provide insights into soil organic matter dynamics and stability. *Soil Science Society of America Journal*, 78(S1), S261-S269.
- Law, B. E., Kelliher, F. M., Baldocchi, D. D., Anthoni, P. M., Irvine, J., Moore, D. V., & Van Tuyl, S. (2001). Spatial and temporal variation in respiration in a young ponderosa pine forest during a summer drought. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110(1), 27-43.
- Lecointe, S., Nys, C., Walter, C., Forgeard, F., Huet, S., Recena, P., & Follain, S. (2006). Estimation of carbon stocks in a beech forest (Fougères Forest–W. France): extrapolation from the plots to the whole forest. *Annals of Forest Science*, 63(2), 139-148.
- Lloyd, J., & Taylor, J. A. (1994). On the temperature dependence of soil respiration. *Functional ecology*, 315-323.
- Luo Y. & Zhou X. (2006). Soil respiration and the environment. Academic Press

- Ma, Y., Piao, S., Sun, Z., Lin, X., Wang, T., Yue, C., & Yang, Y. (2014). Stand ages regulate the response of soil respiration to temperature in a *Larix principis-rupprechtii* plantation. *Agricultural and forest meteorology*, 184, 179-187.
- Moyano, F. E., Vasilyeva, N. A., Bouckaert, L., Cook, F., Craine, J. M., Don, A., ... & Katterer, T. (2012). The moisture response of soil heterotrophic respiration: interaction with soil properties. *Biogeosciences*, 9(3), 1173-1182.
- Monastersky, R. (2013). Global carbon dioxide levels near worrisome milestone. *Nature*, 497(7447), 13.
- Mund, M., & Schulze, E. (2006). Impacts of forest management on the carbon budget of European beech (*Fagus sylvatica*) forests. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 177(3/4), 47.
- Nabuurs, G. J., Thürig, E., Heidema, N., Armolaitis, K., Biber, P., Cienciala, E., ... & Pristova, T. (2008). Hotspots of the European forests carbon cycle. *Forest Ecology and Management*, 256(3), 194-200.
- Nadelhoffer, K. J. (2004). The DIRT experiment: litter and root influences on forest soil organic matter stocks and function. Chapter 15 In: Foster D. and J. Aber. *Synthesis Volume of the Harvard Forest LTER Program*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Ngao J, Epron D, Delpierre N, Breda N, Granier A, Longdoz B (2012). Spatial variability of soil CO<sub>2</sub> efflux linked to soil parameters and ecosystem characteristics in a temperate beech forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 134-146
- Olajuyigbe, S., Tobin, B., Saunders, M., & Nieuwenhuis, M. (2012). Forest thinning and soil respiration in a Sitka spruce forest in Ireland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 157, 86-95.
- Parascan D. și Danciu (2001). Fiziologia plantelor, 23-29
- Pavelescu F.M. (2004). Considerații privind eficiența adăugării unei noi variabile explicative într-un model de regresie liniară. *Institutul de Economie Națională*, 27-32
- Peng, Y., Thomas, S. C., & Tian, D. (2008). Forest management and soil respiration: implications for carbon sequestration. *Environmental Reviews*, 16(NA), 93-111.
- Pumpanen, J., Kolari, P., Ilvesniemi, H., Minkkinen, K., Vesala, T., Niinistö, S., ... & Janssens, I. (2004). Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO<sub>2</sub> efflux. *Agricultural and Forest Meteorology*, 123(3), 159-176.
- Raich JW, Tufekcioglu A (2000). Vegetation and soil respiration: Correlation and controls. *Biogeochemistry* 48: 71-90
- Raich, J. W., & Schlesinger, W. H. (1992). The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B*, 44(2), 81-99.
- Rastogi, M., Singh, S., & Pathak, H. (2002). Emission of carbon dioxide from soil. *Current science*, 82(5), 510-517.
- Reichstein, M., Rey, A., Freibauer, A., Tenhunen, J., Valentini, R., Banza, J., ... & Joffre, R. (2003). Modeling temporal and large-scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices. *Global biogeochemical cycles*, 17(4).
- Rey, A., Pegoraro, E., Tedeschi, V., De Parri, I., Jarvis, P. G., & Valentini, R. (2002). Annual variation in soil respiration and its components in a coppice oak forest in Central Italy. *Global Change Biology*, 8(9), 851-866.
- Rodeghiero M., Cescatti A. (2008). Spatial variability and optimal sampling strategy of soil respiration. *Forest Ecology and Management* 255. 106-112

- Saiz, G., Byrne, K. A., Butterbach-Bahl, K., Kiese, R., Blujdea, V., & Farrell, E. P. (2006a). Stand age-related effects on soil respiration in a first rotation Sitka spruce chronosequence in central Ireland. *Global Change Biology*, 12(6), 1007-1020.
- Saiz G., Green C., Butterbach-Bahl K., Kiese R., Avitabile V, Farrell E.P. (2006b). Seasonal and spatial variability of soil respiration in four Sitka Spruce stands. *Plant Soil* 287;161-176
- Schulp, C. J., Nabuurs, G. J., Verburg, P. H., & de Waal, R. W. (2008). Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest ecology and management*, 256(3), 482-490.
- Schulze, E. D., Ciais, P., Luyssaert, S., Schrumpf, M., Janssens, I. A., Thiruchittampalam, B., ... & Lohila, A. (2010). The European Carbon and Greenhouse Gas Balance Revisited. *Global Change Biology*, 100(B), 1451.
- Soe A.R.B., Buchmann N. (2005). Spatial and temporal variations in soil respiration in relation to stand structure and soil parameters in an unmanaged beech forest. *Tree Physiology* 1427-1436
- Somogyi, Z., Cienciala, E., Mäkipää, R., Muukkonen, P., Lehtonen, A., & Weiss, P. (2007). Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research*, 126(2), 197-207.
- Sullivan, B. W., Kolb, T. E., Hart, S. C., Kaye, J. P., Dore, S., & Montes-Helu, M. (2008). Thinning reduces soil carbon dioxide but not methane flux from southwestern USA ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, 255(12), 4047-4055.
- Tang, J., & Baldocchi, D. D. (2005). Spatial-temporal variation in soil respiration in an oak-grass savanna ecosystem in California and its partitioning into autotrophic and heterotrophic components. *Biogeochemistry*, 73(1), 183-207.
- Târziu R.D., (2006). Pedologie și Stațiuni Forestiere. Editura Silvodel Brașov, p 27, 34-42, 108
- Târziu R.D., Spârchez G. (2013). Soluri și stațiuni forestiere. Editura Universității din Brașov, p.104-105
- Teodosiu M., Guiman G. (2011). Indicele suprafeței foliare în suprafețele de monitoring intensive (nivel II) din România, estimat prin metode directe și indirect. *Revista Pădurilor Anul* 126 Nr. 3-4: 58-65
- Thimonier, A., Sedivy, I., & Schleppei, P. (2010). Estimating leaf area index in different types of mature forest stands in Switzerland: a comparison of methods. *European Journal of Forest Research*, 129(4), 543-562.
- Vicca, S., Bahn, M., Estiarte, M., Van Loon, E. E., Vargas, R., Alberti, G., ... & Borke, W. (2014). Can current moisture responses predict soil CO<sub>2</sub> efflux under altered precipitation regimes? A synthesis of manipulation experiments. *Biogeosciences*, 11(11), 2991-3013.
- Yim, M. H., Joo, S. J., Shutou, K., & Nakane, K. (2003). Spatial variability of soil respiration in a larch plantation: estimation of the number of sampling points required. *Forest Ecology and Management*, 175(1), 585-588.
- Yuste, J. C., Janssens, I. A., Carrara, A., & Ceulemans, R. (2004). Annual Q<sub>10</sub> of soil respiration reflects plant phenological patterns as well as temperature sensitivity. *Global Change Biology*, 10(2), 161-169.
- Zong, N., Jiang, J., Shi, P., Song, M., Shen, Z., & Zhang, X. (2015). Nutrient Enrichment Mediates the Relationships of Soil Microbial Respiration with Climatic Factors in an Alpine Meadow. *The Scientific World Journal*, 2015 p 12-25
- \*\*\* 2014. Amenajamentele silvice Bazei Experimentale Mihăești, UP XI Huluba, SE I Râul Târgului.

## SCURT REZUMAT

## SCHORT SUMMARY

---

Scopul studiului a constat în analiza principalilor factori ce influențează variabilitatea spațio-temporală a fluxului de dioxid de carbon din sol, în fâgete de deal.

Pentru îndeplinirea obiectivelor propuse s-au realizat determinări ale carbonului din biomasa arborilor, din literă și din sol. Periodic s-a determinat temperatura și umiditatea din sol. În același timp s-a înregistrat fluxul de dioxid de carbon din sol, folosind tehnica IRGA.

La nivel temporal s-a identificat cel mai bun model care să explice variabilitatea  $FCO_2$  din sol. Folosind criteriul informațional AIC s-a putut determina modelul optim, prin care factorii determinații au explicat 70% din variabilitatea temporală a  $FCO_2$  din sol.

Variabilitatea spațială a  $FCO_2$  din sol a arătat un grad ridicat de eterogenitatea cât și lipsa structurii spațiale a respirației solului, lucru demonstrat prin hărțile de interpolare și analiza semi-variogramelor. Prin construirea modelului optim, privind variabilitatea spațială a  $FCO_2$  din sol, s-a constatat diferențe în ceea ce privește componența factorilor ce alcătuiesc acest model.

The aim of the study was to analyze the main factors influencing the spatial and temporal variability of  $FCO_2$  from soil in the European beech forest hill.

For the achievement of the proposed objectives carbon from the biomass of the trees, from the organic layer and from the soil was determined. The temperature and soil moisture of the soil were periodically measured. At the same time the carbon dioxide efflux in the soil was determined, using IRGA technique.

The best model to explain the  $FCO_2$  variability in the soil was identified using the AIC. The optimal model explained 71% of the temporal variability of  $FCO_2$  in the soil.

The spatial variability of  $FCO_2$  in the soil showed a high degree of heterogeneity as well as the lack of spatial structure of soil respiration, demonstrated by interpolation maps and analysis of semi-variograms. The design of the optimum model, for spatial variability of soil dioxide efflux, showed differences of the factors to build this model.

# CURRICULUM VITAE

---

## DATE PERSONALE:

Nume: BRAGĂ  
Prenume: Cosmin Ion  
Data și locul nașterii

## STUDII:

**Licență:** Universitatea Transilvania din Brașov  
Octombrie 2002 - Iunie 2007 Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere  
**Masterat:** Universitatea Transilvania din Brașov  
Octombrie 2007 - Iunie 2009 Facultatea de Silvicultură și Exploatare Forestiere

## ACTIVITATEA PROFESIONALĂ

Iulie 2007 – Mai 2010  
INCDS Stațiunea Brașov Inginer - proiectare Amenajarea Pădurilor  
Mai 2010 - prezent  
INCDS Stațiunea Pitești LC Mihăești Cercetător științific - Biometrie/Ecologie forestieră

## ACTIVITATEA ȘTIINȚIFICĂ:

Articole publicate în reviste cotate BDI 5  
Conferințe internaționale cotate BDI 6  
Participări în contracte de cercetare 4

# CURRICULUM VITAE

---

## PERSONAL DATA:

First name: BRAGĂ  
Surname: Cosmin Ion  
Date and place of birth  
Phone:

Forest Engineer: Transilvania University of Braşov  
October 2002 - June 2007 Faculty of Silviculture and Forest Engineering  
MSc: Transilvania University of Braşov  
October 2007 - June 2009 Faculty of Silviculture and Forest Engineering

## PROFESSIONAL EXPERIENCE

July 2007 – May 2010  
INCDS Braşov Engineer – Management planning  
May - present  
INCDS Mihăeşti Scientific researcher – Biometry and Ecology

## SCIENTIFIC ACTIVITY:

Articles published in IDB Journals 5  
International conferences in IDB 6  
Participation in research grants 4